This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

LENOX LIBRARY

AUCTOR PRETIOSA FACIT

Astor Collection.
Presented in 1884.

Reclus
KAN

LA TERRE

II

L'OCÉAN

L'ATMOSPHÈRE — LA VIE

IMPRIMERIE J. CLAYE
RUE SAINT BENOIT 7
LABOR
PARIS

LA TERRE

DESCRIPTION

DES

PHÉNOMÈNES DE LA VIE DU GLOBE

PAR

ÉLISÉE RECLUS

II

L'OCÉAN — L'ATMOSPHÈRE — LA VIE

AVEC

208 CARTES OU FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

ET 27 CARTES TIRÉES EN COULEUR

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

Deuxième Édition.

PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET Cie

79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1872

Droits de propriété et de traduction réservés.

LENOX LIBRARY
NEW YORK

L'OCÉAN

L'ATMOSPHÈRE ET LES MÉTÉORES

LA VIE

PREMIÈRE PARTIE.

L'OCÉAN.

CHAPITRE I.

LES EAUX MARINES.

I.

Considérations générales.

Pour la plupart des hommes, groupés en populations pressées dans ces continents qui s'étendent à peine sur le quart de la surface du globe, les mers ne sont guère autre chose qu'une sorte de chaos sans limite et sans fond ; par une illusion d'optique intellectuelle, les savants eux-mêmes donnent aux phénomènes des régions continentales une importance géographique beaucoup plus grande qu'à ceux des régions océaniques. Ainsi nos ancêtres, tout en voyant au-dessus de leurs têtes s'arrondir l'espace infini rempli d'étoiles et de nébuleuses, considéraient cette immensité comme une simple coupole reposant sur le large édifice de la terre.

Et pourtant, si l'influence de l'Océan dans l'économie

générale du globe n'est point étudiée avec le même soin que l'action des rivières qui coulent dans les plaines et des sources qui jaillissent dans les creux des collines, cette influence n'en est pas moins de premier ordre, et c'est d'elle que dépendent les principaux phénomènes de la vie planétaire. « L'eau est ce qu'il y a de plus grand ! » s'écriait Pindare, dès les origines de la civilisation hellénique, et depuis, la science nous a révélé que les continents eux-mêmes se sont élaborés au sein des mers, que sans elles le sol, pareil à une surface métallique, ne pourrait donner naissance à aucun organisme. Ainsi que le racontent poétiquement presque toutes les cosmogonies des peuples primitifs, la terre est « fille de l'Océan ».

Ce n'est point là simplement un mythe, c'est la réalité même. L'étude des couches terrestres, grès, sables, argiles, calcaires, conglomérats, prouve que les matériaux des masses continentales ont en grande partie séjourné au fond de la mer, et qu'ils y ont pris leur forme et leur composition : peut-être même de nombreuses roches, et notamment les granits de la Scandinavie [1], que l'on croyait autrefois être sorties à l'état pâteux de l'intérieur de la terre, sont-elles d'anciens grès et calcaires marins lentement transformés par le travail de chimie qui s'opère incessamment dans le grand laboratoire du globe. Même sur les flancs et les sommets des plus hautes montagnes, soulevées actuellement à plusieurs milliers de mètres au-dessus du niveau de l'Océan, on trouve les traces de l'antique séjour et de l'action des eaux marines. Sous nos yeux, l'immense labeur commencé par les mers dès l'origine des âges se continue sans relâche avec une telle activité que, même durant sa courte vie, l'homme peut assister à d'importantes modifications des côtes. Si les flots sapent et renversent lentement une péninsule, ailleurs ils construisent des plages et forment des îlots. Aux anciennes roches démolies par les vagues succèdent des roches nouvelles, différentes par l'ordonnance et l'aspect. Ainsi les promontoires de granit se

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre.*

changent en strates de gneiss sous l'action des ondes qui trient et tamisent régulièrement les divers cristaux du rocher désagrégé, quartz, feldspath et mica. De même, l'argile provenant de la désintégration lente du feldspath porphyrique ou granitique se transforme en ardoise, dont les feuillets superposés durciront tôt ou tard comme ceux des schistes anciens. Ce n'est pas tout : un agent encore plus puissant que le choc des vagues travaille constamment, dans le sein de la mer, à la modification et à la reconstruction des roches. Cet agent, c'est la vie animale. Les testacés, les coraux, les innombrables animalcules à carapace calcaire ou siliceuse qui vivent dans l'Océan sont sans cesse à l'œuvre pour consommer et produire. Ils absorbent les molécules terreuses que les fleuves apportent à la mer, les décomposent chimiquement dans leurs organismes et sécrètent les substances dont ils forment leur squelette et leur étui ; à mesure que meurent les générations de ces tourbillons d'animaux, leurs débris s'entassent au fond de la mer ou sur ses plages et finissent par former des bancs immenses, des plateaux qu'un soulèvement produira plus tard au grand jour[1].

Grâce à cet incessant renouvellement des roches, l'Océan crée à chaque heure une terre différente de l'ancienne par l'aspect et la disposition des couches. Aussi, pour l'esprit du géologue, le fond invisible des mers ne devrait-il pas avoir moins d'importance que la surface émergée des continents : le sol qui nous porte aujourd'hui, nous et nos cités, disparaîtra comme ont déjà disparu en tout ou en partie les terres des époques antérieures, et les espaces encore inconnus que recouvrent les eaux surgiront à leur tour pour s'étendre à la lumière du soleil en masses continentales, en îles, en péninsules.

Durant la longue période d'âges géologiques pendant laquelle les diverses parties de la terre sont baignées, non par les flots marins, mais seulement par les ondes de l'atmosphère, l'Océan ne cesse d'en modeler le relief par ses nuages,

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Faune*.

ses pluies et les météores naissant à sa surface. Tous ces agents de l'atmosphère qui s'acharnent contre les sommets des monts, les ravinent et les abaissent peu à peu, c'est la mer qui les envoie ; tous ces glaciers qui polissent les roches et poussent devant eux dans les vallées de puissantes moraines de débris, ce sont les nuages venus de l'Océan qui les déposent sous forme de neige dans les cirques des montagnes ; toutes ces eaux qui pénètrent par les fissures dans les profondeurs du sol, qui dissolvent les rochers, percent les grottes, entraînent à la surface les substances minérales et causent parfois de grands écroulements souterrains, que sont-elles, sinon les vapeurs marines retournant à l'état liquide vers le bassin d'où elle étaient sorties ? Enfin les innombrables rivières qui répandent la vie sur tout le globe, et sans lesquelles les continents seraient des espaces arides et complétement inhabitables, ne sont autre chose qu'un système de veines et de veinules rapportant au grand réservoir océanique les eaux déversées sur le sol par le système artériel des nuages et des pluies. C'est donc aux phénomènes de la vie maritime qu'il faut attribuer l'immense travail géologique des fleuves et le rôle si important qu'ils remplissent dans la flore, la faune et l'histoire de l'humanité. Les découvertes futures des géologues et des naturalistes nous diront aussi quelle part revient à l'Océan dans la production et le développement des germes de vie animale et végétale qui ont atteint leur plus grande beauté à la surface des continents.

Quant aux climats, aux variations desquels est soumis tout ce qui vit sur la terre, ne dépendent-ils point des mouvements océaniques autant que de la distribution et du relief des espaces émergés ? Le froid des latitudes polaires serait plus rigoureux, la chaleur des latitudes tropicales serait plus forte, et ces extrêmes feraient périr sans doute la plupart des êtres actuellement en existence, si les courants océaniques ne portaient l'eau des pôles à l'équateur, celle de l'équateur aux pôles, et ne travaillaient ainsi constamment à l'équilibre des températures. De même, l'atmosphère serait complétement dépourvue de vapeurs et peut-être irrespirable,

si l'humidité marine ne se répandait avec les vents sur tous les points du globe. Ainsi l'Océan fond les contrastes des climats et fait de toutes les régions distinctes de la planète un ensemble harmonique ; il suscite et conserve la vie sur la terre, qu'il a déposée couche à couche, qu'il arrose de ses vapeurs et féconde par ses sources et ses fleuves.

II.

Bassins océaniques. — Profondeur des mers. — Égalisation du niveau à la surface de l'Océan.

Les mers, qui recouvrent la plus grande partie de la rondeur du globe, prennent leur origine dans le réservoir commun de l'océan Antarctique et communiquent les unes avec les autres par de larges détroits ou des nappes maritimes d'une importance secondaire. Cette absence partielle de limites dans l'énorme étendue des océans empêche la surface liquide d'avoir la même harmonie de formes que les masses continentales ; cependant on peut dire que les mers offrent d'une manière générale une distribution inverse de celle des parties du monde. Au deux continents américains, unis par un isthme étroit, correspond le double bassin de l'Atlantique avec son large évasement central, le Pacifique lui-même est divisé par son immense traînée d'archipels en deux grands océans distincts, et la mer des Indes contraste au sud avec la masse septentrionale de l'Asie [1]. En limitant de ses flots les rivages de la terre, l'Océan pénètre au loin dans l'intérieur des côtes, soit par de larges golfes arrondis comme ceux de la Guinée et du Bengale, soit par des mers bordées d'une chaîne d'îles et d'îlots comme la mer de Chine et celle des Antilles, soit par des

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Harmonies et les Contrastes*.

réseaux de détroits comme ceux de la Sonde et de l'archipel polaire de l'Amérique. Enfin certaines mers sont presque complétement fermées et ne communiquent avec le reste de l'Océan que par des portes étroites : telles sont la Méditerranée et le golfe d'Arabie.

Le fond de toutes ces mers n'est point horizontal. Le lit marin a, comme les continents eux-mêmes, des plateaux, des vallées et des plaines. Les matelots touchent pour ainsi dire toutes ces inégalités; grâce à leurs instruments de sondage, gigantesques antennes, ils reconnaissent des cavités et des protubérances, des « sauts, » des creux et des saillies. On pourrait croire que le relief du sol sous-marin conserve encore toute sa rugosité, primitive et que les rochers, les précipices, les failles, offrent uniformément des arêtes vives et tranchantes, des escarres de fracture, fraîches comme au jour où se rompit la roche solide. En effet, dans les profondeurs marines, il n'y a point de gelées qui fassent éclater les pierres saillantes, d'éclairs qui les fendent, de glaciers qui les broient et les entraînent, de météores qui les rongent incessamment et finissent par les arrondir. Toutefois, dans son ensemble, le fond des abîmes océaniques est beaucoup moins inégal que la surface des continents; si dans le fond des mers il n'y a pas, comme sur nos continents, d'agents sans cesse à l'œuvre pour détruire les saillies, il en est d'autres qui travaillent à recouvrir les aspérités du sol : ce sont les matières terreuses apportées par les fleuves et les milliards innombrables de squelettes d'animalcules qui ont vécu sur le fond ou descendent en neige des couches supérieures de l'eau et comblent peu à peu les gorges sous-marines. Ces chaînes de montagnes fantastiques dessinées sur le lit de la mer par Buache et d'autres géographes ne peuvent avoir d'existence réelle, puisque les agents géologiques à l'œuvre dans les eaux diffèrent de ceux qui sur nos continents travaillent à sculpter les plateaux et les monts. Seulement si quelque immense remous empêchait les débris de se déposer sur les parties profondes de l'Océan, les roches et les fissures des abîmes garderaient leur forme première comme ces cratères

et ces obélisques de la lune que ne rongent les intempéries d'aucune atmosphère. Il est en effet des parages où, sous l'influence d'un courant sous-marin, les roches du fond ne sont pas recouvertes d'alluvions organiques. Les recherches de M. Delesse ont prouvé que les dépôts manquent en général sur les parties saillantes des protubérances cachées et dans les détroits balayés par les courants [1].

En général, le sol sous-marin s'étend en grandes surfaces aux longues ondulations et aux pentes douces. Les matelots que le vent ou la vapeur emporte rapidement sur les eaux, et qui jettent le plomb de sonde à des distances assez éloignées les unes des autres, sont tentés de s'exagérer l'importance des inégalités du fond et de voir des sauts et des précipices là où la déclivité du sol est en réalité peu considérable [2]. Des escarpements pareils à ceux des montagnes de la surface continentale se présentent très-rarement; aussi Fitz-Roy fut-il grandement surpris de trouver dans le voisinage des Abrolhos du Brésil des pentes tellement rapides que la sonde jetée d'un côté du navire indiquait de 8 à 10 mètres de profondeur, tandis que, de l'autre côté, elle marquait de 30 à 40 mètres. La pente la plus roide qui soit connue au fond des mers se trouve au large du cap Cañaveral, à l'est de la Floride. A 2775 mètres de distance, la sonde touche le fond à 849 mètres et à 1947 mètres ; l'inclinaison entre les deux points est donc de 1098 mètres ou de 39,6 pour cent [3]. Parfois, du reste, une cause spéciale fait comprendre ces changements brusques de niveau. Ainsi M. de Villeneuve-Flayosc a découvert dans le golfe de Cannes une source d'eau douce jaillissant du fond d'une espèce de puits dont les parois ont 27 degrés d'inclinaison [4]. Mais comment expliquer cet étrange gouffre ou *gouf* qui s'étend immédiatement au large de Cap-Breton, sur la côte des Landes ? Faut-il en attribuer la formation à la rencontre des marées qui viennent se heurter dans l'entonnoir du golfe de Gascogne ?

1. *Recherches sur le dépôt littoral de la France, Comptes rendus*, 1868.
2. Raulin, *Géographie girondine*, p. 70. — Oscar Peschel, *Ausland*, 1867.
3. Lieut. Craven, cité par Kohl, *Geschichte des Golfstroms*.
4. *Description géologique du Var*, p. 466.

C'est là une question qu'il n'est pas encore possible de résoudre.

On peut se faire une idée des étendues sous-marines en parcourant les contrées émergées à une époque relativement récente. Les landes françaises, les terres basses qui ont remplacé le golfe du Poitou, une grande partie du Sahara, les pampas de la Plata fournissent des exemples remarquables de

GOUF DE CAP-BRETON.

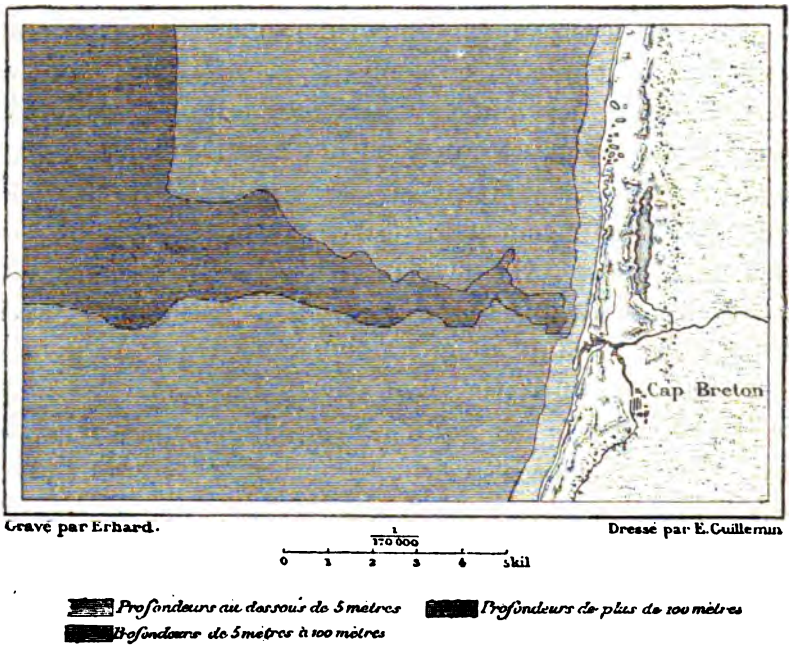


Fig. 1.

la régularité d'inclinaison qu'offre en général le fond des mers. Même les côtes rocheuses, comme celles de l'Écosse et de la Scandinavie, ont été çà et là nivelées dans les parties basses que recouvraient naguère les eaux de l'Atlantique. Si les tremblements et les ruptures du sol, les volcans et les lentes oscillations de la croûte terrestre ne travaillaient pas de leur côté à rendre plus nombreuses les inégalités du relief planétaire, il est certain que l'apport incessant des alluvions fluviales, les débris de rocs sciés par les flots, et surtout les restes de ces organismes pullulants qui remplissent la mer,

auraient pour résultat d'égaliser le fond des océans et d'en transformer les abîmes en dépressions aux pentes à peine marquées ; les eaux, de leur côté, envahiraient graduellement la surface des continents, puis, après des myriades de siècles, la terre redeviendrait ce qu'elle fut jadis, un sphéroïde recouvert sur tout son pourtour d'une couche liquide d'épaisseur uniforme.

Une ancienne opinion populaire, qui, à défaut d'observations directes, n'était pas plus contradictoire au bon sens que tant d'autres hypothèses dites scientifiques, voulait que la mer fût « sans fond », et pour bien des ignorants cette expression proverbiale est encore ce qui répond le mieux à la réalité des choses. Au commencement du siècle dernier, Marsigli lui-même parlait de « l'abîme » de la Méditerranée comme d'un gouffre absolument insondable [1]. En revanche, des mathématiciens, s'appuyant sur des considérations théoriques, ont essayé d'évaluer par le calcul la profondeur moyenne des mers. Buffon, qui ne cite pas l'auteur italien auquel il avait emprunté son raisonnement, donnait à l'Océan une épaisseur d'eau d'un quart de mille, soit 230 toises ou 440 mètres [2]. L'astronome Lacaille, dont les évaluations ne se rapprochaient pas davantage de celles que les sondages opérés récemment ont rendues probables, donnait à la mer de 300 à 500 mètres de profondeur. Quant à Laplace, évaluant par erreur l'élévation moyenne des terres à 1,000 mètres, c'est-à-dire à trois fois la hauteur déterminée aujourd'hui d'une manière approximative [3], il pensait que la couche d'eau marine devait avoir également 1,000 mètres d'épaisseur environ. Évidemment les recherches basées sur des théories qu'il s'agit d'abord de prouver n'ont qu'une valeur relative, et c'est par l'observation directe que l'on doit arriver un jour à connaître toutes les saillies et les ondulations du fond de l'Océan ; mais les instruments que les marins ont à leur disposition sont encore imparfaits, et, sauf pour les

1. *Histoire de la mer*, p. 10.

2. *Théorie de la terre : les Fleuves.*

3. Humboldt. — Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Harmonies et les Contrastes.*

faibles profondeurs, ne donnent pas de résultats d'une rigoureuse exactitude. Dans les parages où les couches d'eau ont plusieurs centaines ou même plusieurs milliers de mètres

PROFONDEURS DE L'ADRIATIQUE.

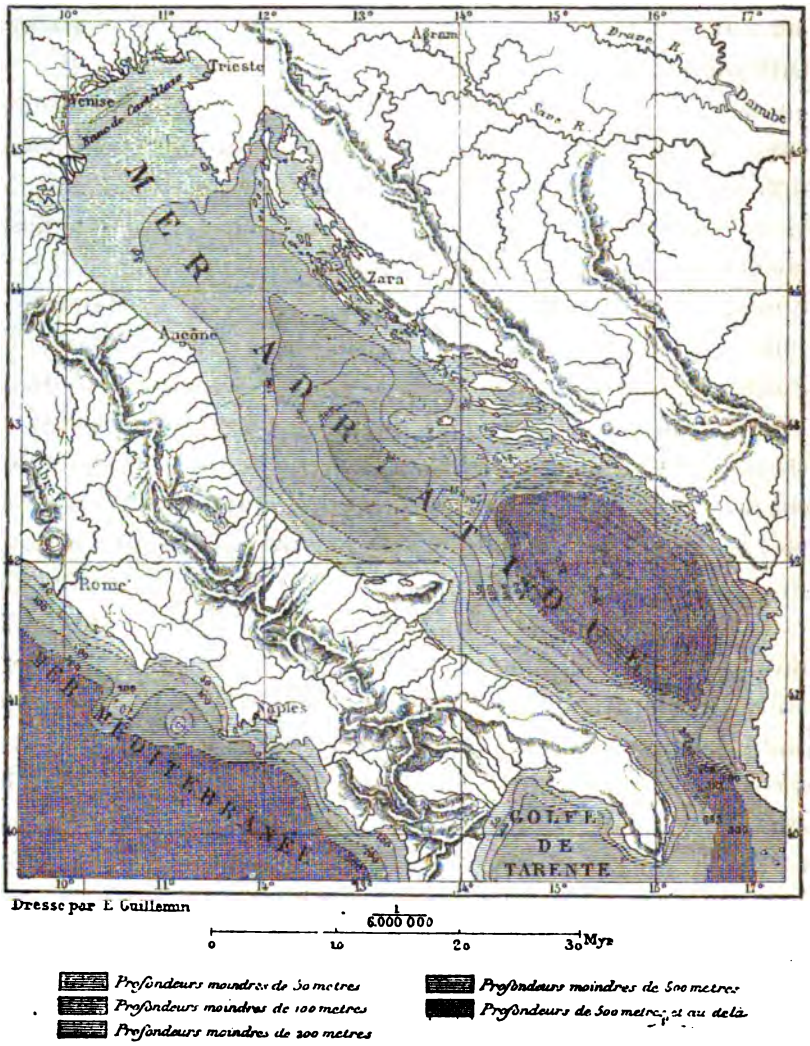


Fig. 2.

d'épaisseur, on ne peut se hasarder à jeter la sonde, si l'atmosphère et les vagues ne sont d'un calme exceptionnel, et, même alors, la ténuité de la corde, le poids des appareils, l'énorme pression qu'ils ont à supporter à mesure qu'ils des-

cendent, et qui croît d'une *atmosphère* pour 10 mètres d'enfoncement, enfin les longues heures qu'il faut employer à cette délicate opération, mettent toujours en danger le succès final. Tant qu'on ne se servira pas d'engins munis de sonneries électriques comme ceux de Schneider ou de Gareis et Becker [1], et d'un emploi facile, rapide et sûr, les mesures « bathymétriques » seront toujours très-espacées, et l'on ne pourra dresser la carte du relief sous-marin comme on a commencé à dresser aujourd'hui celle du relief continental. D'ailleurs, il est trop rare que dans les mers profondes les marins opèrent des sondages pour la joie purement scientifique d'explorer les gouffres de l'Océan. C'est uniquement pour les besoins de la navigation, du commerce et de l'industrie qu'ils ont procédé à l'étude du fond des eaux, soit dans les golfes comme l'Adriatique, soit dans les parages remplis de bancs de sable comme la mer du Nord, soit dans le voisinage des côtes et des *vigies* signalées sur d'anciennes cartes, ou bien dans les parties de l'Océan qui devaient recevoir des câbles électriques. Dans la haute mer, les navires voguent presque partout sur des gouffres insondés.

Grâce à sa forme allongée et à l'amphithéâtre de hautes montagnes qui l'entoure presque en entier, l'Adriatique offre un exemple très-remarquable d'une continuation des pentes continentales au-dessous du niveau de la mer. La partie septentrionale du golfe, dont le fond prolonge sous les eaux les plaines uniformes de la Vénétie, s'incline suivant une déclivité des plus graduelles, deux fois plus faible que ne l'est celle des campagnes de la Lombardie, horizontales en apparence [2]. La sonde ne révèle 100 mètres d'épaisseur liquide qu'au delà de l'étranglement formé par les îles de Zara et la pointe d'Ancône; plus d'un tiers de l'Adriatique se trouve ainsi ne pas dépasser en profondeur moyenne des fleuves comme le Mississipi et le courant des Amazones. Au sud, la déclivité sous-marine, qui continue d'un côté celle des

1. *Physiographie des Meeres*, 1867.
2. G. Collegno, *Geologia del l'Italia*, p. 12.

Alpes de Dalmatie, devient comparativement plus forte, et le plomb de sonde descend jusqu'à 200, 250 et même 310 mètres au-dessous de la surface ; la mer forme en cet endroit une espèce de cuve, que limite, au sud, un isthme sous-marin

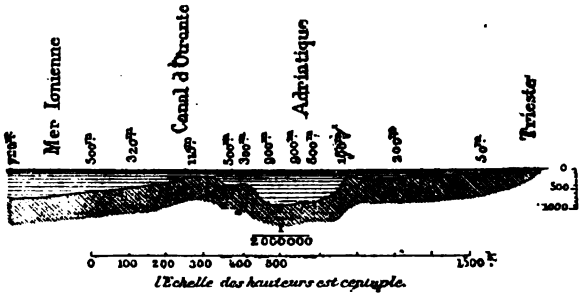


Fig. 3. — Profil du lit de l'Adriatique.

réunissant la presqu'île de Manfredonia à l'écueil isolé de Pelagosa et aux îles de la côte dalmatienne, Lagosta, Curzola, Lesina. Au delà de cet isthme, et jusqu'au seuil recouvert par le canal d'Otrante, s'ouvre une nouvelle cuve, et de beaucoup la plus creuse, puisque vers le milieu c'est à près de 1,000 mètres que doit plonger la sonde ; à l'est se dressent les escarpements du Montenegro, dont les racines descendent très-rapidement sous les eaux. Ainsi les sondages de l'Adriatique confirment cette observation depuis longtemps faite par Dampier et d'autres marins, que les mers sont en général profondes à la base des montagnes aux pentes abruptes, et qu'elles ont au contraire une faible épaisseur liquide au large des côtes basses.

Quant à la Méditerranée proprement dite, elle n'est guère connue que dans les parages explorés pour la pose des câbles télégraphiques; cependant, en rapprochant les uns des autres tous les coups de sonde donnés çà et là et les divers itinéraires suivis par les dérouleurs de fils, on est arrivé à se faire une idée générale de la forme du relief sous-marin. Que la Méditerranée baisse tout à coup de 200 mètres, cette mer se partagera en trois nappes distinctes : l'Italie rejoindra la Sicile, la Sicile s'unira par un isthme à l'Afrique, le détroit des Dardanelles et le Bosphore se fermeront, mais la porte marine

de Gibraltar restera en libre communication avec l'océan Atlantique. Que le niveau baisse de 1,000 mètres, la mer Égée, le Pont-Euxin, le golfe Adriatique disparaîtront en entier, ou ne laisseront au fond de leurs bassins que des flaques sans importance, le reste de la Méditerranée se divisera en plusieurs caspiennes isolées ou communiquant entre elle par d'étroits canaux ; enfin le seuil de Gibraltar joindra le promontoire terminal de l'Europe aux montagnes de l'Afrique. Une dénivellation de 2,000 mètres ne laisserait plus que trois lacs intérieurs : à l'ouest, un bassin triangulaire occupant le centre de la dépression ouverte entre la France et l'Algérie ; au milieu, une longue cavité se dirigeant de la Crète vers la Sicile ; à l'est, un creux situé au large des côtes d'Égypte. La plus grande profondeur méditerranéenne, dépassant 4,000 mètres, est au nord des Syrtes, presque au centre géométrique du bassin [1].

Il en est de l'Atlantique septentrional comme de la Méditerranée. Les profondeurs de la vallée centrale qui se prolonge du nord au sud, entre l'Europe et le nouveau monde, ne sont connues que d'une manière générale; mais la sonde a exploré à peu près complétement les golfes et les détroits du nord de l'Europe, la Manche, la mer d'Allemagne, le Cattegat, la Baltique.

La mer du Nord offre dans toute sa partie méridionale, du 51e au 57e degré de latitude, une profondeur moyenne de 30 à 50 mètres seulement, excepté au large de Newcastle, où le fond se trouve de 90 à 120 mètres de la surface. De vastes étendues de sable et de vase, le banc Blanc, le banc Noir, le banc Brun, le Dogger-Bank, le Fisher-Bank, séparés les uns des autres par des fosses et des canaux latéraux, plus profonds de 10 à 20 mètres, emplissent le bassin presque dans son entier et se prolongent au loin vers le nord jusque par le travers des îles Shettland. C'est là que se déposent, comme au centre d'un remous, les alluvions marines, tandis qu'un bras de l'Océan longe les côtes escarpées de la Scandinavie sur les roches et les argiles compactes du fond ; dans ces parages, la

1. Bœttger, *das Mittelmeer*; — *Mittheilungen von Petermann*, 1866.

corde de sonde descend jusqu'à 300, 500 et même 800 mètres de la surface marine. En plein Skagerrack, entre les plages du Jutland et les falaises de la Norvége, on a trouvé 810 mètres; on croirait voir, dans de plus vastes proportions, ces rigoles

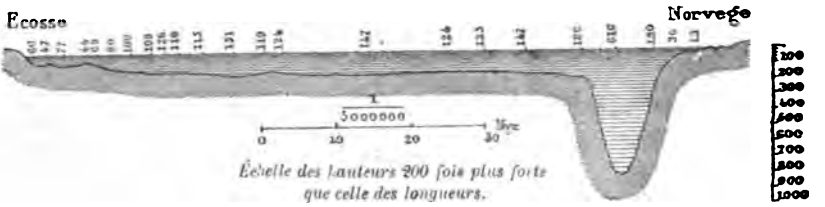


Fig. 4. — Profil du lit de la mer du Nord, de la pointe septentrionale de l'Écosse à Stavanger en Norvége.

étroites et profondes qui entourent les rochers situés au milieu des plages basses.

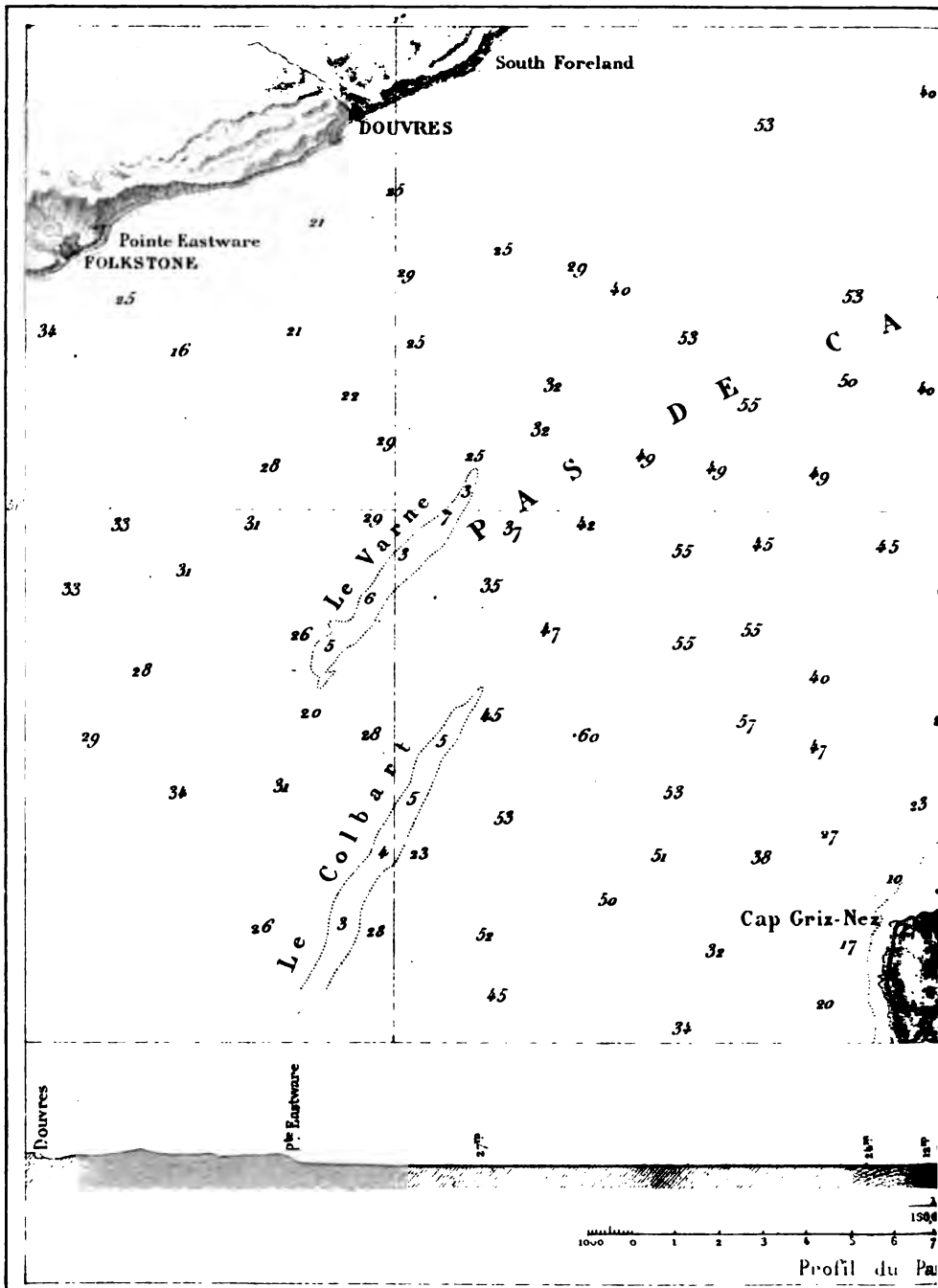
Du Skagerrack au Cattegat, qui peut être considéré comme le seuil sous-marin des eaux méditerranéennes de la Baltique, la transition s'opère assez brusquement. Le Cattegat n'offre nulle part plus de 80 mètres; la profondeur moyenne de son canal est de 100 mètres seulement, et les bancs de sable et de vase en rendent la navigation difficile. L'épaisseur de la couche d'eau se réduit à 30, à 20, et même, en certains endroits, à une dizaine de mètres dans le Sund et le grand Belt, qui donnent entrée à la mer Baltique proprement dite. Ce vaste bassin, qui tient à la fois du golfe maritime par sa libre communication avec l'Océan, et du lac intérieur par la faible salure de ses eaux, offre une profondeur moyenne de 40 à 60 mètres, analogue à celle du Cattegat; d'après Foss, l'endroit le plus profond, situé entre l'île de Gottland et l'Esthonie, se trouverait à 179 mètres seulement au-dessous du niveau marin [1]; d'après Anton von Etzel, la sonde ne toucherait le fond qu'à 275 mètres dans la partie la plus creuse de ces parages.

Au sud-ouest, la mer du Nord communique par le Pas-de-Calais avec la Manche, étroit bras de mer que l'on peut considérer comme un simple accident de la surface terrestre,

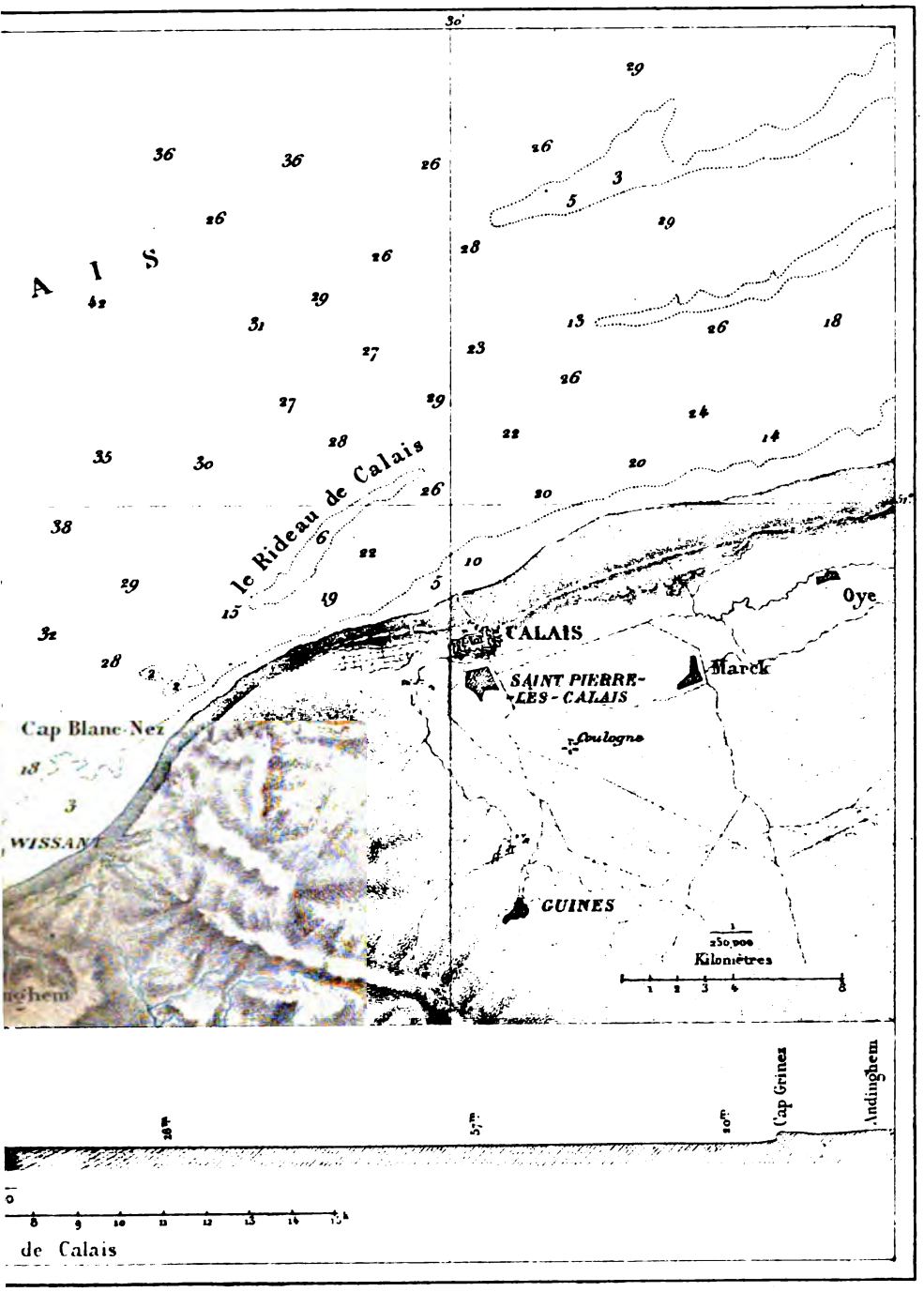
1. *Zeitschrift für die Erdkunde*, n° 100, 1861.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

PAS DE



Gravé chez Erhard


30'
le Rideau de Calais
CALAIS
SAINT PIERRE-LES-CALAIS
Marck
Oye
Boulogne
GUINES
Cap Blanc-Nez
WISSANT
Cap Grinez
Andinghem
250,000
Kilomètres
de Calais

[illegible]

comme un sorte de fossé maritime, tant ses abîmes sont peu de chose, comparés à ceux de l'Océan. Pour se faire une idée vraie de la profondeur de la Manche comparée à son étendue, que l'on s'imagine une miniature de cette mer tracée à

PROFONDEURS DE LA MANCHE.

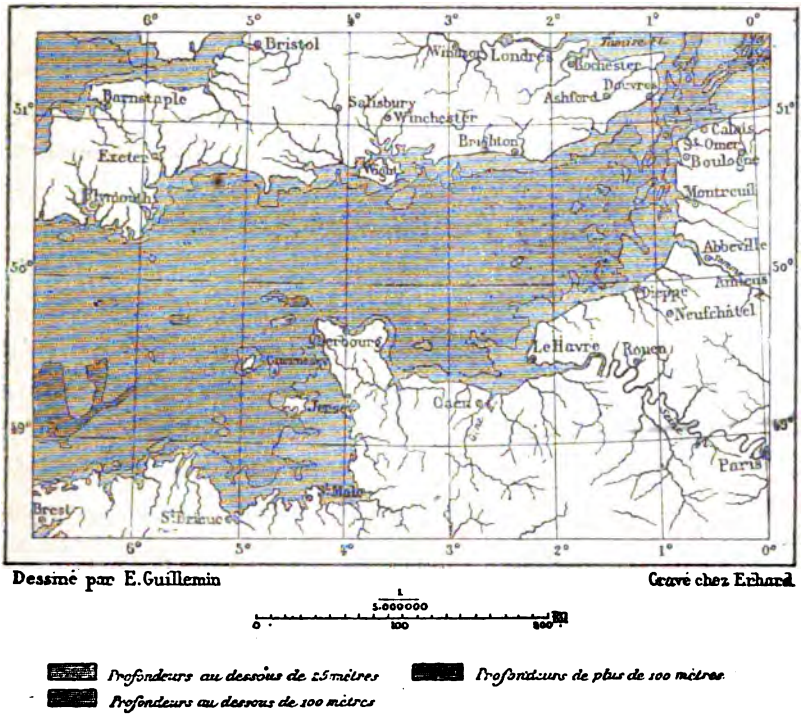


Fig. 5.

l'échelle de 1 mètre par kilomètre dans une prairie parfaitement horizontale. Cette nappe d'eau n'aurait pas moins de 500 mètres de long, et sa largeur varierait, suivant la disposi-

Fig. 6. — Profil suivant la ligne de plus grande profondeur A B.

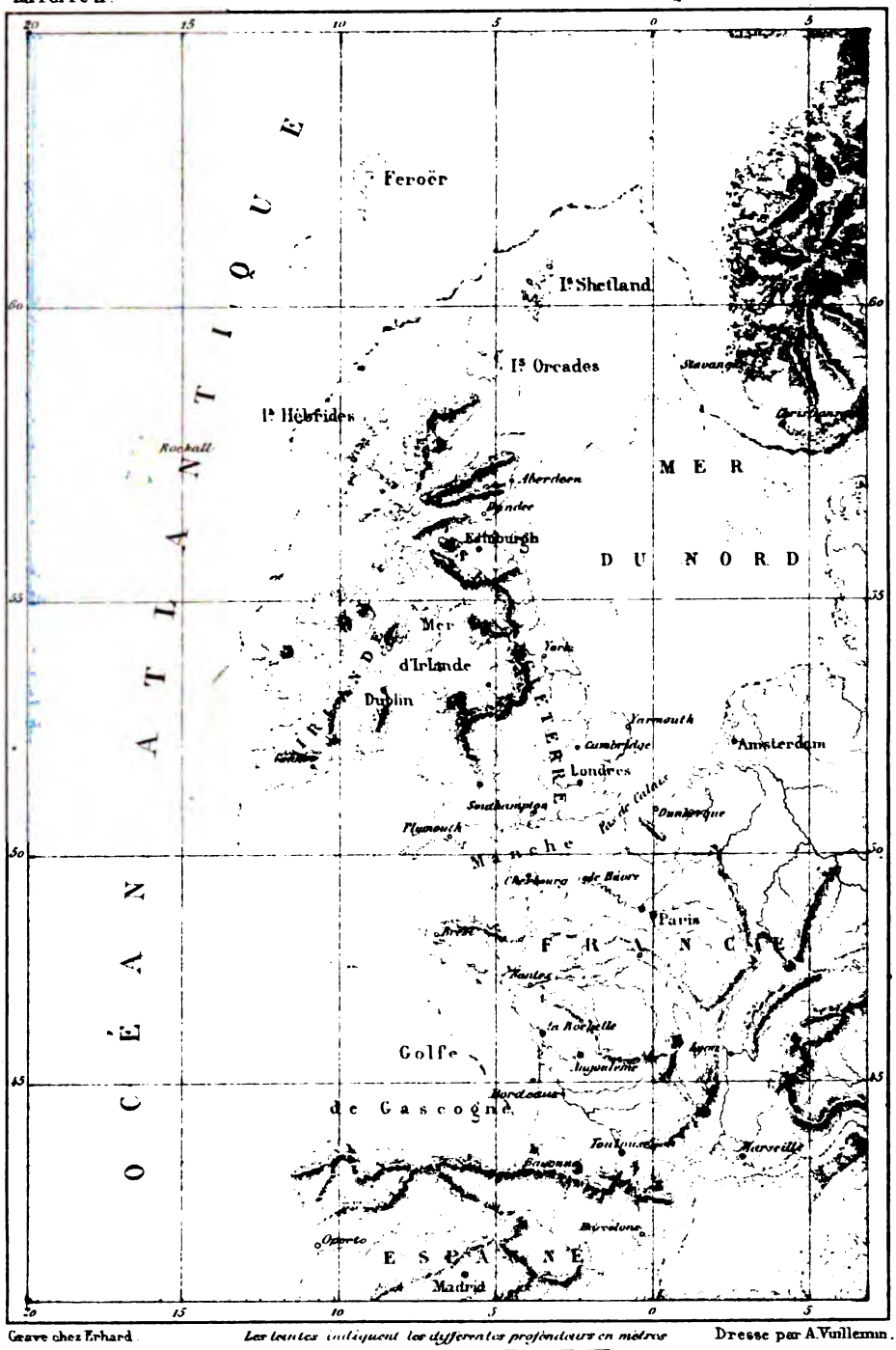
tion des côtes, entre 33 et 250 mètres. Et néanmoins, en dépit de cette surface considérable, la plus grande profondeur de la mare serait de 5 centimètres seulement à l'entrée; dans la partie la plus creuse du canal, entre la motte figurant Start-Point et

celle des Sept-Iles, elle ne dépasserait pas 6 centimètres : un passereau sautillerait au-dessus de cette mer en miniature [1]. On le voit, il est facile de s'exagérer l'importance des profondeurs marines aussi bien que la hauteur des montagnes. Le profil annexé à la planche I représente la puissance relative de la couche liquide comprise entre les falaises de Douvres et celles de Calais.

Au sortir de la Manche, les points du lit océanique explorés par les sondeurs sont de plus en plus espacés dans la direction de l'ouest, puis deviennent tout à fait rares. Enfin, à plusieurs centaines de kilomètres en mer, là où commencent les véritables abîmes, c'est à des intervalles de 50 et même de 90 kilomètres seulement qu'ont été opérés les sondages. Les points de repère qui ont servi à dresser la carte sous-marine de l'Atlantique boréal sont donc très-peu nombreux; néanmoins on peut y voir une représentation à peu près exacte du relief océanique. En moyenne, la profondeur de l'eau qui sépare les côtes de l'Amérique du Nord et celles de l'Europe est d'environ 3,500 mètres, mais la vallée centrale présente un relief relativement très-uniforme, et beaucoup moins accidenté que ne l'est la surface de l'Europe ou même des États-Unis ; les plus fortes pentes n'y dépassent probablement pas celles des fleuves, qui semblent être à peu près horizontales : on peut dire que le fond de la mer est concentrique avec la surface. De là le nom de « plateau du télégraphe » donné à ces plaines par Maury, quelque temps avant qu'on posât le premier câble transatlantique. La profondeur la plus considérable de ce plateau est de 4,431 mètres, soit environ un 1639e de la largeur de l'Océan : c'est là une épaisseur relativement plus faible que celle de la plus fine aiguille [2]. Le profil de la planche III permet de comparer le relief continental et celui des fonds océaniques, depuis les côtes des États-Unis jusqu'à celles de l'Europe ; il est vrai que, pour rendre visibles les dimensions verticales, il a fallu les exagérer dans l'énorme

1. Saxby, *Nautical Magazine*, March 1864.
2. Bischof, *die Gestalt der Erde und Meeresfläche*, p. 6 et suiv.

PUBLIC LIBRARY
FOUNDA



Gravé chez Erhard. Les teintes indiquent les différentes profondeurs en mètres 50 100 200 200 à 6000 mètres Dressé par A. Vuillemin.

proportion du vingtuple. Au sud, le fond de la mer devient de plus en plus accidenté. Un profil idéal tracé du plateau d'Anahuac à la Sénégambie à travers le Yucatan, la mer des Caraïbes, les Antilles et le bassin central de l'Atlantique présente un relief beaucoup plus inégal que celui du plateau

SECTION DE L'ATLANTIQUE TROPICAL.

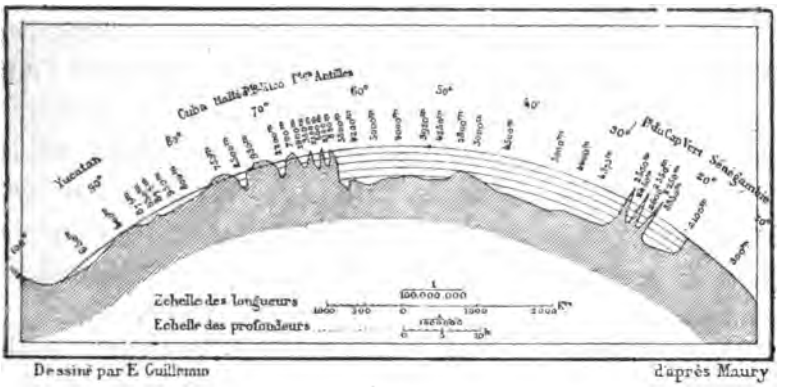


Fig. 7.

télégraphique ; mais la partie vraiment océanique du bassin offre également dans presque toute son étendue une grande uniformité [1].

Considéré dans son ensemble, l'Atlantique boréal est une dépression dont les pentes descendent graduellement vers une sorte de cuve située entre la côte des États-Unis, les Bermudes et le banc de Terre-Neuve. Un abaissement de 200 mètres seulement révélerait le piédestal sous-marin sur lequel reposent la France, l'Espagne et les îles Britanniques. Là est bien la véritable base du continent d'Europe, car immédiatement en dehors de cette assise fondamentale qui forme l'angle extrême de l'ancien monde, le lit marin, incliné d'environ 8 degrés, descend graduellement de 200 mètres à 3,000 et 4,000 mètres au-dessous des vagues. Une baisse de niveau de 2,000 mètres diminuerait de plus de moitié la largeur de l'Atlantique, dessécherait complétement le golfe du Mexique et ne laisserait qu'un lac allongé dans la partie médiane de la mer des Caraïbes. Si le niveau actuel s'abaissait de 4,000 mètres, un continent sé-

1. Maury, *Geography of the Sea.*

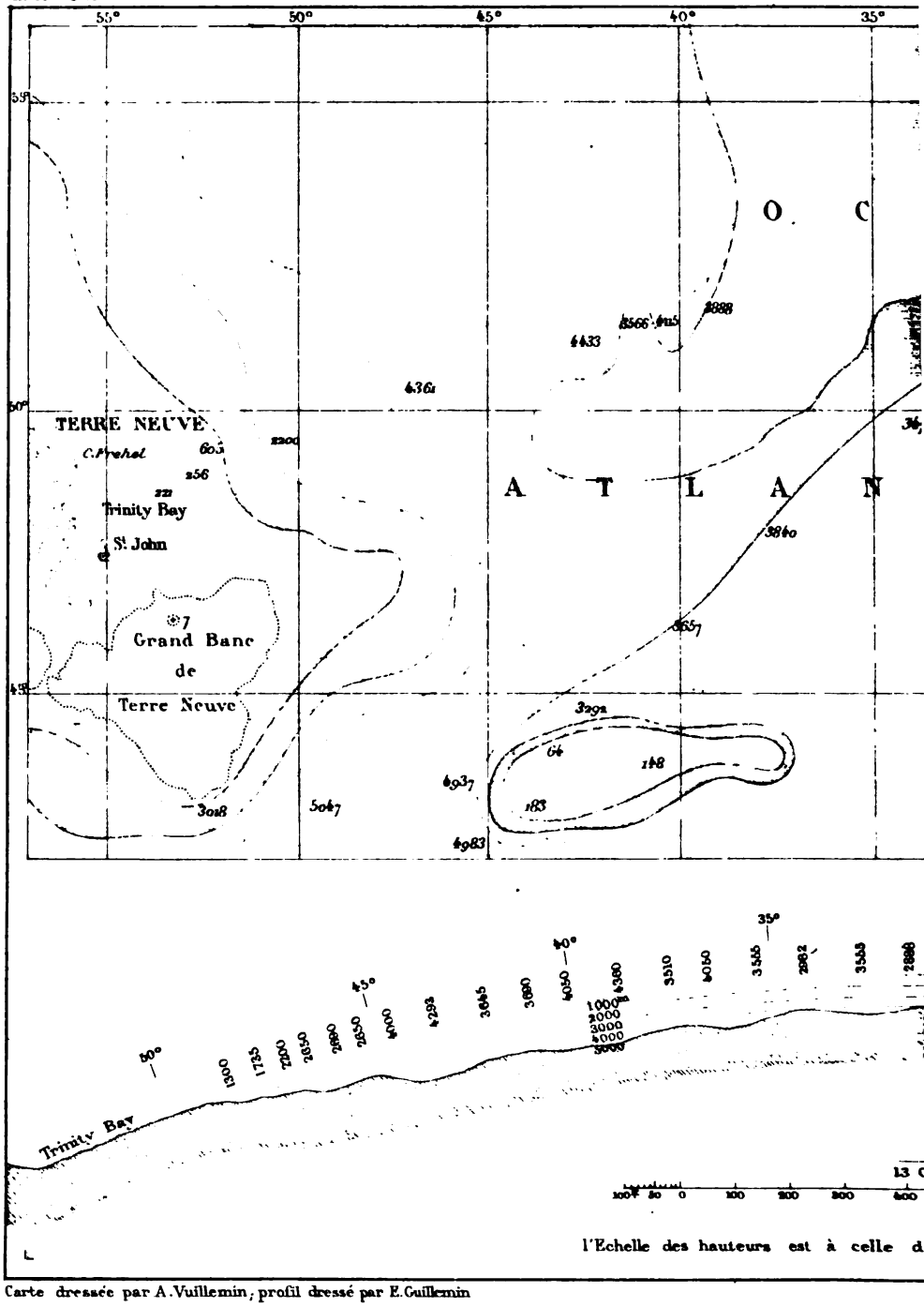
paré de l'Amérique et de l'Europe par deux étroits canaux, et s'étalant lui-même sur une largeur de 2,500 à 3,000 kilomètres, se prolongerait jusque dans la zone torride et, par une coïncidence remarquable, affecterait cette disposition péninsulaire et cette direction dans le sens du midi qu'offrent le Groenland, la Scandinavie, l'Espagne, l'Italie, la Grèce, l'Arabie, les deux Indes, ainsi que les trois grands continents du sud[1]. Une dénivellation de 6,000 mètres unirait complétement Terre-Neuve à l'Irlande et jetterait par conséquent un pont entre l'ancien et le nouveau monde; il ne resterait même de l'Atlantique central qu'une étroite méditerranée se développant au large des Antilles et des Guyanes. Enfin, que les eaux baissent de 8,000 mètres, et la partie septentrionale de l'Atlantique sera réduite à une petite caspienne triangulaire située entre les Açores, le banc de Terre-Neuve et les Bermudes.

Dans l'état actuel de la science, il est impossible de dresser, pour les profondeurs de l'Atlantique méridional, une carte approximative semblable à celle que l'on peut construire pour les fonds de l'Atlantique du Nord. Il paraît même que plusieurs des sondages exécutés dans cette partie de l'Océan doivent être considérés comme non avenus, parce que les explorateurs n'avaient pas tenu compte de la dérivation que les courants sous-marins font subir à la corde de sonde. La profondeur de 13,900 mètres obtenue par le capitaine anglais Denham inspire toute confiance à M. Bischof et à d'autres géologues, parce que l'explorateur a pris soin de relever plusieurs fois la corde à une centaine de mètres, et que celle-ci, en retombant, s'est toujours arrêtée au même point : quant au sondage de 15,900 mètres annoncé par l'Américain Parker, il est certainement erroné, puisque dans les mêmes parages on a plus tard trouvé le fond à 5,500 mètres seulement. Ne connaissant pas l'épaisseur de la couche liquide dans les diverses parties de l'Atlantique austral, des mathématiciens ont essayé du moins de calculer la profondeur moyenne de tout le bassin par la vitesse de translation des vagues de marée[2]. Ils ont évalué à

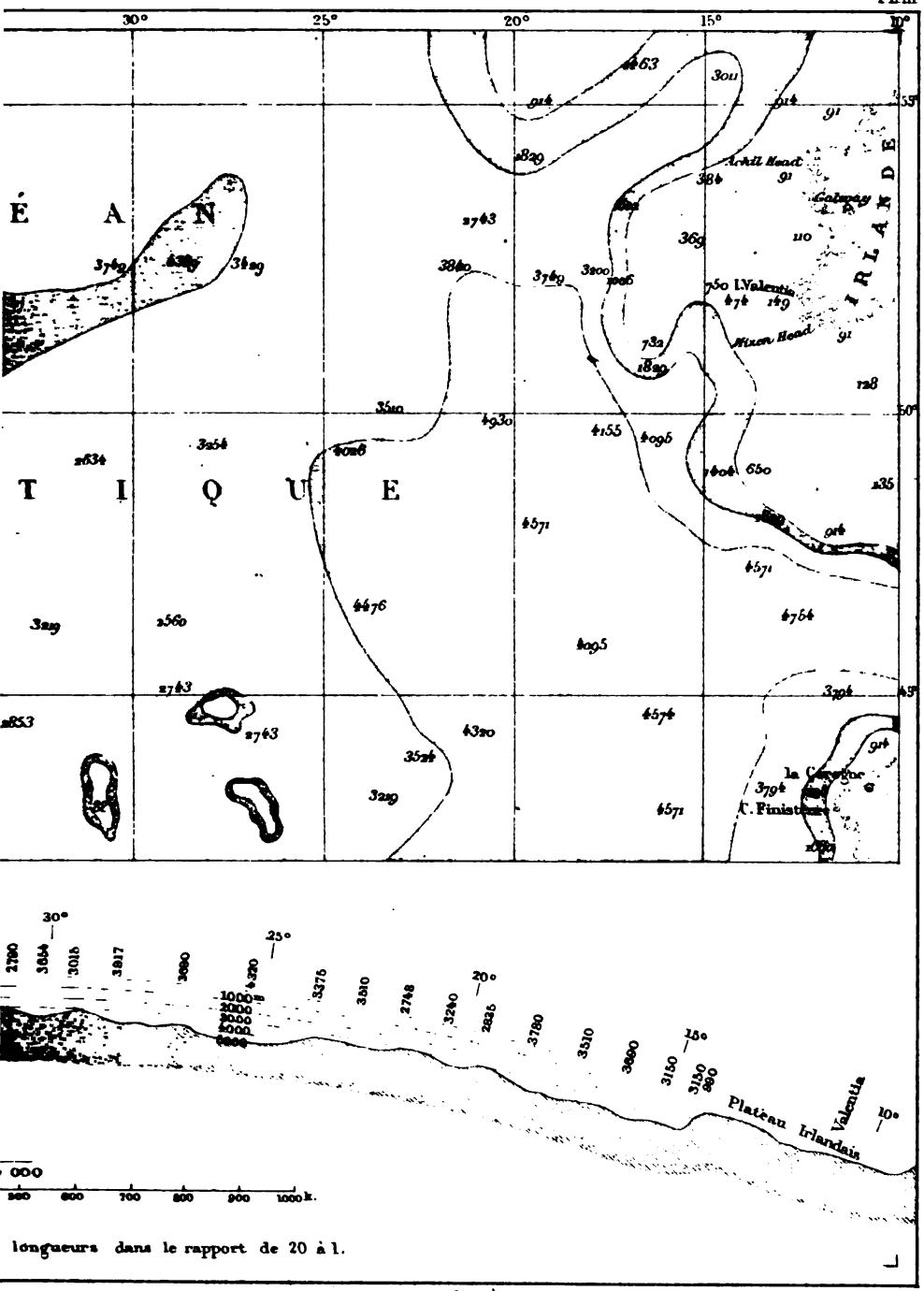
1. John Herschel, *Physical Geography*, p. 35.
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Marées*.

PUBLIC LIBRARY

OCÉAN ATLA



Carte dressée par A. Vuillemin, profil dressé par E. Guillemin



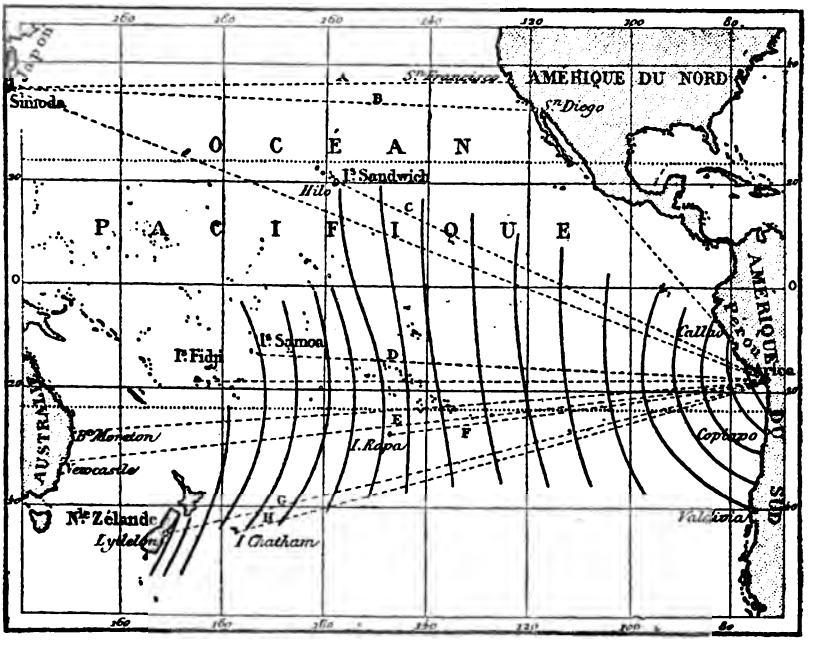
d'après les sondages des navigateurs Anglais et Américains.

PUBLIC LIBRARY

6,700 mètres environ la puissance moyenne de la couche d'eau dans l'Atlantique, du 50e degré de latitude australe au 50e degré de latitude boréale. Or la profondeur moyenne étant d'à peu près 4,000 mètres dans le bassin du nord, elle pourrait être, d'après ce calcul, évaluée à 9,000 mètres dans le bassin du sud.

Quant à l'océan Pacifique, ce n'est point par la vitesse de propagation des marées, mais par celle des vagues d'ébranlement que l'on a pu en évaluer d'une manière approchée la profondeur moyenne. Lors du terrible tremblement de terre

PROPAGATION DES VAGUES DE TREMBLEMENT A TRAVERS LE PACIFIQUE.



A.	Flot, 677 kil. par heure.	—	Profondeur, 4,285 mèt.			E.	Flot, 590 kil. par heure.	—	Profondeur, 3,168 mèt.			
B.	» 653 »	»	—	»	3,843 »	F.	» 670 »	»	—	»	3,587 »	
C.	» 771 »	»	—	»	5,254 »	G.	» 585 »	»	—	»	2,696 »	
D.	» 662 »	»	—	»	3,460 »	H.	» 666 »	»	—	»	4,048 »	

Fig. 8.

du 23 décembre 1854, qui détruisit en partie plusieurs villes japonaises, entre autres Yeddo et Simoda, les vibrations de la surface marine traversèrent en 12 heures et quelques minutes un espace océanique de 11,000 kilomètres. Le professeur Franklin Bache put calculer en conséquence la vitesse des ondes

et la profondeur de l'Océan à travers lequel elles s'étaient propagées : cette profondeur est en moyenne de 4,285 mètres[1]. D'ailleurs, les divers sondages authentiques exécutés dans le bassin septentrional du Pacifique, entre la Californie et les îles Sandwich, confirment ce résultat du calcul, puisqu'ils indiquent des fonds variant de 3,600 à 4,700 mètres; non loin de la côte de la Californie, on a trouvé 4,940 mètres[2]. Lors du tremblement de terre du 13 août 1868, dont le centre se trouvait près de la ville d'Arica et qui s'étendit sur un espace de 1550 kilomètres, le long de la côte du Pacifique, de Callao à Copiapo, on a pu observer aussi les vagues d'ébranlement, dans les îles Chatham, dans la Nouvelle-Zélande, dans l'île isolée de Rapa, à Newcastle en Australie, aux îles Samoa, aux îles Sandwich, et l'on a déduit de la rapidité des lames la profondeur moyenne des mers. Cette profondeur varie de 5,254 à 2,696 mètres[3].

PROFONDEURS DE L'OCÉAN PACIFIQUE.

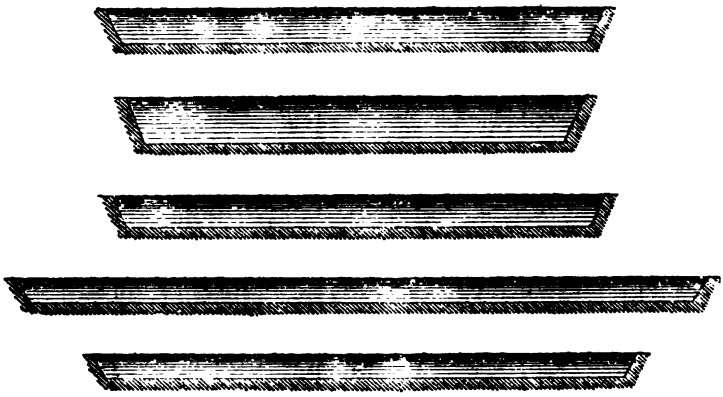


Fig. 2.

Entre les Philippines et les Mariannes, deux sondages ont donné 5,975 mètres et 6,600 mètres, et même dans cette dernière opération, le plomb a rapporté des échantillons du sol sous-marin et 117 espèces d'animalcules. Enfin, entre le Pacifique et la mer des Indes, au sud des îles de la

1. *Report of the United-States Coast-Survey*, 1855.
2. John Herschel, *Physical Geography*, p. 39.
3. Ferd. von Hochstetter, *Mittheilungen von Petermann*, VI. 1869.

Sonde, le capitaine Ringgold a trouvé le fond à plus de 14 kilomètres au-dessous de la surface. Ainsi l'on pourrait jeter dans cet abîme non-seulement le Pélion sur Ossa, mais aussi le Gaourisankar, la plus haute montagne du globe, et sur ce pic, si l'on dressait encore le mont Blanc, le sommet de ce colosse du continent d'Europe n'atteindrait même pas la surface des flots.

L'océan Indien est probablement aussi très-profond; mais on n'en connaît guère d'une manière approximative que les parages très-rapprochés des côtes. Ses golfes, de même que

PROFONDEUR DE LA MER AUX BOUCHES DU GANGE.

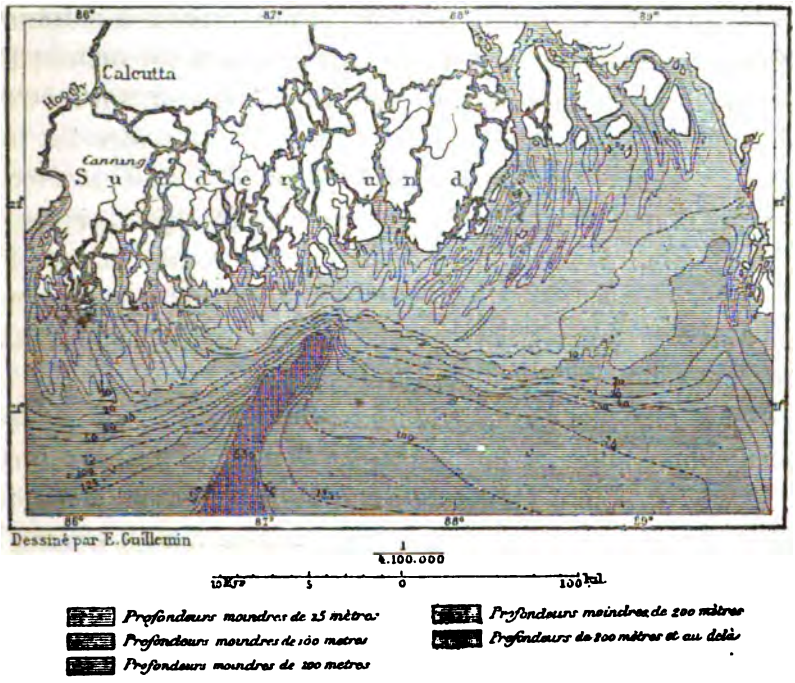


Fig. 10.

ceux de la Méditerranée et de l'océan Atlantique, ont relativement une faible épaisseur d'eau : ainsi le golfe Persique aurait en moyenne 100 mètres, et la mer Rouge de 300 à 500; ses plus grandes profondeurs sont de 600 mètres. Les parties du golfe du Bengale qui longent la côte de Coromandel et le delta du Gange s'approfondissent aussi très-lentement

au large des rives, sauf à l'extrémité septentrionale : là se trouve un gouffre étonnant, le *great swatch*, qui n'a pas moins de 4,000 mètres et qu'enveloppent au nord, à l'est et à l'ouest des fonds de boue et de limon où la sonde touche à quelques dizaines de mètres à peine. C'est peut-être à un remou des eaux de marée qu'est due la formation de ce singulier entonnoir, s'ouvrant précisément à l'endroit où viennent s'épancher dans la mer les alluvions du Gange [1].

Presque tout l'archipel de la Sonde, Sumatra, Java, Borneo et les îles avoisinantes reposent sur un banc sous-marin n'ayant en moyenne que 60 mètres de profondeur, et dans les endroits les plus creux 100 mètres seulement : ce piédestal est probablement la base d'un ancien continent dont les innombrables terres parsemées dans ces parages sont les débris. Un autre banc qui s'étend jusqu'à 700 kilomètres au nord et au nord-ouest de l'Australie porte ce continent et toutes les îles voisines, y compris la Nouvelle-Guinée : un détroit d'eaux très-profondes et non encore sondées sépare des archipels asiatiques ces hauts-fonds australiens qui, eux aussi, semblent être les anciens fragments de terres disparues [1]. C'est autour de ces deux grands socles continentaux que commencent les deux océans proprement dits du Pacifique et des Indes.

Quant aux mers antarctiques, on a trouvé 3,150 mètres de profondeur entre le 63me et le 64me degré de latitude ; près du 78me degré, à côté même de l'énorme barrière de glace qui l'empêchait de s'avancer vers le pôle, James Ross a touché le fond à 760 mètres : c'est là tout ce que les navigateurs nous ont appris. L'océan glacial du Nord est mieux connu, du moins dans quelques-uns de ses parages. Au nord de la Sibérie, le fond de la mer, continuant la pente des *toundras* à peine inclinées, se prolonge vers le pôle avec une si faible déclivité, qu'à 250 kilomètres du littoral, la sonde accuse en moyenne de 26 à 27 mètres seulement. Au nord du Spitzberg, près du 81e degré de latitude, les explorateurs allemands de l'expédition polaire

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.

2. Voir, ci-dessous, les chapitres intitulés *les Rivages et les Iles*, et *la Terre et sa Faune*.

ont trouvé des profondeurs d'environ 4,000 mètres[1]. Le long des côtes occidentales de la Scandinavie, la mer est encore profonde de près de 1,000 mètres, et sur le littoral escarpé de la Norvége, ses abîmes vont rejoindre la fosse qui sépare la Scandinavie des bas-fonds de la mer du Nord. Plus à l'ouest, entre l'Écosse et l'Islande, les parages explorés par Mac Clintock en vue de la pose d'un câble télégraphique ont rarement plus de 600 mètres et n'offrent en aucun endroit une couche d'eau de plus de 1,225 mètres d'épaisseur. Entre l'Islande et le Groenland, la sonde a trouvé 2,830 mètres, et dans le détroit de Baffin, s'ouvrent des gouffres de plus de trois kilomètres et demi (3,675 mètres). Cette dépression considérable fait du Groenland une terre entièrement distincte du continent américain. Le plateau sur lequel repose cette grande île offre des pentes relativement très-escarpées. Du côté de l'ouest, la déclivité du fond est en certains endroits de 1 mètre sur 5, tandis que les pentes occidentales du plateau sous-marin de l'Irlande, qui sont parmi les plus rapides de l'Océan, ont environ 1 mètre de chute sur 8 mètres de longueur[2].

L'ensemble des faits déjà constatés donne une très-grande probabilité à cette opinion, fort naturelle d'ailleurs, que les océans s'approfondissent graduellement dans la direction du sud, où la nappe liquide occupe la plus grande largeur autour de la planète. Le célèbre chimiste et géologue Bischof croit pouvoir conclure de la comparaison de tous les sondages que le lit des mers est en moyenne aussi rapproché du centre du globe que le sont les pôles eux-mêmes. En certains parages, notamment vers le 78e degré de latitude nord, le rayon terrestre mené au fond de la mer est même plus court que celui du pôle, ce qu'il faut attribuer peut-être à l'érosion du sol par les montagnes de glace ; dans la plupart des océans, au contraire, le fond de la mer est un peu plus éloigné du centre de la terre que ne le sont les pôles, ce qui provient sans doute des alluvions apportées par les fleuves et des entassements d'animal-

1. *Mittheilungen von Petermann*, VI, 1849.
2. Wallich, *North Atlantic Sea-bed*, p. 18.

cules. Ainsi la partie du globe recouverte par les eaux marines pourrait être considérée comme parfaitement ronde, et l'hypothèse de Newton, expliquant le renflement équatorial par l'état de fluidité qu'aurait eu la masse planétaire, deviendrait inutile[1].

Quant à la profondeur moyenne de toute la masse des eaux marines, on ne saurait guère l'évaluer à moins de 5 kilomètres, puisque déjà tout le bassin de l'Atlantique et celui du Pacifique boréal, que bordent les grands continents du nord, sont plus profonds de plusieurs centaines ou même de milliers de mètres. En prenant pour la surface totale des océans une étendue de 386 millions de kilomètres carrés, on trouve que la mer forme un volume d'au moins 1,930 milliards de kilomètres cubes, soit la 560e partie de la planète elle-même. John Herschel[2] donne pour ce même volume des chiffres beaucoup plus élevés ; mais il a pris pour base de son calcul le maximum probable de la profondeur des eaux, soit quatre milles anglais, plus de 6,436 mètres. On ne saurait se prononcer encore avec certitude ; un jour, grâce aux nouvelles observations qui s'ajoutent chaque année à toutes celles que la science possède déjà, il sera permis d'indiquer des chiffres relativement précis. Une chose est certaine, c'est que le relief continental est beaucoup moins haut que la mer n'est profonde : on peut évaluer les terres émergées à un quarantième environ de la masse des eaux. D'ailleurs, ces terres elles-mêmes renferment aussi une énorme proportion d'humidité entrant chimiquement dans la composition des roches.

L'eau des mers, sollicitée par la force de la pesanteur, cherche incessamment son niveau comme l'eau des fleuves et des lacs. Lorsque, par suite d'une évaporation très-active ou de la persistance de tempêtes soufflant d'un même côté de l'horizon, la surface marine s'est abaissée dans un golfe, les eaux des parages voisins se précipitent vers l'espace appauvri afin d'en remplir les vides ; de même, quand de fortes pluies,

1. *Gestalt der Erde und der Meeresfläche.*
2. *Physical Geography*, p. 17

les crues de grands fleuves ou l'action des vents ont élevé le niveau de la mer sur un point, ce gonflement local ne manque pas de se déprimer bientôt et d'épancher son trop-plein sur les nappes environnantes. On peut donc considérer la hauteur moyenne de la mer comme étant la même dans tous les océans, puisque le mouvement naturel de l'eau est de rétablir l'égalité de sa surface dans les parties où s'est produit un trouble accidentel. Il faut tenir compte cependant des différences locales produites par l'attraction des plateaux et des montagnes. L'eau est d'un niveau plus élevé sur le rivage des continents qu'autour des îles océaniques. C'est là ce qu'ont prouvé les observations du pendule.

Cependant la diversité des climats, des vents et des courants est telle que certaines mers, séparées l'une de l'autre par un isthme étroit, offrent d'une manière permanente des hauteurs inégales. Ainsi l'Atlantique, dont les eaux s'épanchent, d'un côté dans la mer du Nord, de l'autre dans la Méditerranée, aurait un niveau moyen faiblement supérieur à celui des deux bassins qu'il alimente, tandis que la mer Noire et le golfe de Venise, où se jettent plusieurs rivières abondantes, seraient relativement élevées. Des deux côtés de l'isthme de Suez, les eaux se trouvent aussi à des hauteurs légèrement inégales : le niveau moyen de la mer Rouge, à Suez, dépasse de 80 centimètres celui de la Méditerranée, près de Port-Saïd; aux basses marées, les deux nappes se trouvent sensiblement à la même hauteur, tandis qu'à l'heure du flux, l'eau est parfois plus haute de 1 mètre dans la baie de Suez qu'à l'extrémité septentrionale du canal de l'isthme. Une semblable différence se produit également entre la baie de Colon et le golfe de Panama, et là aussi c'est la masse d'eau dont les marées ont le plus d'amplitude, c'est-à-dire l'océan Pacifique, qui l'emporte en hauteur. Du reste, les mesures faites sur le niveau toujours instable de la mer sont des opérations fort délicates, car on peut se tromper au point de départ, à cause des oscillations changeantes du flux et du reflux; sur des espaces de plusieurs kilomètres coupés d'obstacles divers, il est bien difficile d'éviter de légères erreurs. En tous cas, il est certain que la surface de la mer,

sans cesse parcourue et remuée par les vents, les courants et les marées, n'est parfaitement horizontale sur aucun point du globe.

III.

Composition de l'eau de mer. — Poids spécifique. — Marais salants, naturels et artificiels. — Substances diverses. — Différences de salinité. — Sel marin.

En outre des limons, des restes d'animalcules et des innombrables débris qu'elle tient en suspension, l'eau de mer est aussi chargée de substances chimiques en solution, qui lui donnent un poids spécifique notablement supérieur à celui de l'eau douce. Ce poids varie dans toutes les mers, suivant la quantité des substances dissoutes, le taux de l'évaporation, les apports des fleuves, des pluies, la direction des courants et des contre-courants. Dans les mers polaires, le poids spécifique des eaux se modifie également par suite de la formation ou de la fonte des glaces : chaque variation de la température, chaque mouvement local de la mer a pour conséquence une modification plus ou moins sensible dans la proportion des sels dissous et dans le poids spécifique de l'eau. Aussi ne peut-on donner que des moyennes pour ces diverses conditions de la masse liquide dans les différentes mers.

La moyenne du poids spécifique est, pour les océans aux bassins profonds, de près de 1,028, c'est-à-dire qu'un mètre cube d'eau marine pèse 1,028 litres, 28 litres de plus qu'un même volume d'eau distillée. Dans la Méditerranée, où la chaleur solaire vaporise plus de liquide que les fleuves n'en apportent, le poids spécifique moyen dépasse 1,029; dans la mer Noire, au contraire, où débouchent des rivières d'eau douce très-considérables, le poids spécifique se réduit à 1,016; enfin on constate en d'autres mers, suivant les conditions physiques dans lesquelles elles se trouvent, tous les poids intermédiaires

entre ces poids extrêmes. Il paraît du reste établi que les eaux des océans de l'hémisphère méridional sont en moyenne un peu plus légères que celles de l'hémisphère septentrional[1].

La quantité moyenne de tous les sels contenus dans la mer, ou, si l'on veut, la *salinité* des eaux marines, était évaluée par Bibra et Bischof à 35,27 parties sur 1,000; mais des observations beaucoup plus complètes, faites depuis par Forchhammer, ont réduit cette proportion à 34,40. D'ailleurs, presque toutes les analyses qui, jusqu'à nos jours, ont été faites de l'eau prise

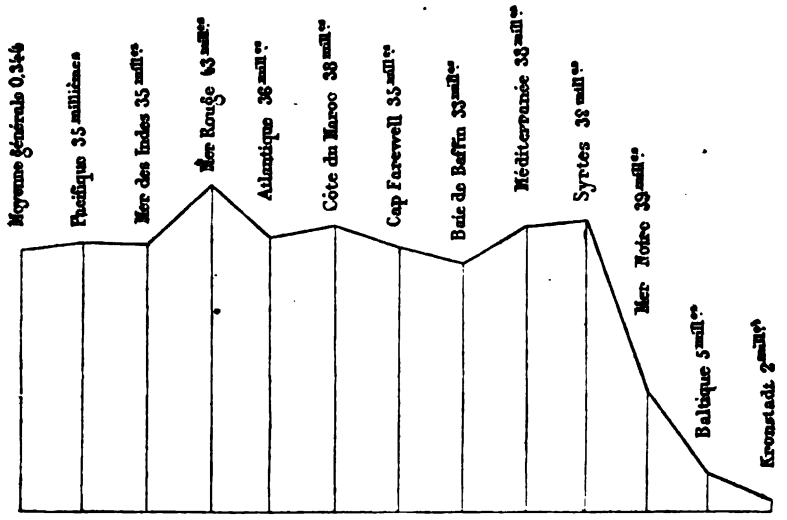


Fig. 11. — Salinité proportionnelle des mers.

au large dans l'Océan confirment l'opinion générale des chimistes, que la proportion relative des matières dissoutes est sensiblement la même dans toutes les mers. La quantité du sel marin est toujours d'un peu plus des trois quarts de la salinité totale (75,786). Après le sel marin ou chlorure de sodium viennent par ordre d'importance le chlorure de magnésium, les sulfates de magnésie et de chaux, le chlorure de potassium, le bromure de magnésium et le carbonate de chaux.

Dans l'Atlantique tropical du Nord, la moyenne des sels océaniques est de près de 38 pour mille sur les côtes du

1. Horner; J. Davy. — Bischof, *Lehrbuch der chemischen Geologie.*

Sahara et du Maroc, où la mer ne reçoit aucun tributaire et où, par contre, l'évaporation est très-active. Plus au large, et principalement dans les parages américains, où l'eau de plusieurs grands fleuves se mêle à celle de la mer, la salinité est moins élevée de 1, de 2 ou même de 3 millièmes; seulement elle est en général plus forte dans les eaux tièdes du grand courant appelé Gulf-stream, qui traverse obliquement l'Atlantique. La proportion des sels contenus dans ce courant dépasse toujours 35 millièmes[1], tandis que l'eau qui reflue du pôle vers l'équateur par la baie de Baffin est de 33 millièmes environ. C'est aux énormes amas de glaces que ces courants doivent la salinité relativement faible de leurs eaux. Les masses d'eau froide qui se dirigent du pôle antarctique vers le sud de l'Afrique et de l'Amérique renferment également moins de matières salines que les mers des zones tempérées et de la zone équatoriale.

Quant aux bassins presque fermés, comme la Méditerranée, la mer des Antilles, la Baltique, la salinité doit y être évidemment plus ou moins forte que celle de l'Océan, suivant que l'évaporation est en excès sur l'eau douce apportée par les fleuves et les nuages, ou bien leur est inférieure. Dans la Méditerranée, la perte en vapeurs étant plus considérable que les apports en eau douce, la salinité doit s'accroître en conséquence, et la masse liquide ne cesserait de diminuer, si un courant venu de l'Atlantique par le détroit de Gibraltar ne rétablissait l'équilibre. Tandis que les eaux moins salines de l'Océan pénètrent dans la Méditerranée en coulant à la surface, un contre-courant sous-marin, composé d'eau plus lourde et plus salée, coule en sens inverse dans les profondeurs et va se mêler aux masses liquides de l'Atlantique renfermant moins de sels. La salinité moyenne de la Méditerranée est de près de 38 millièmes, et dépasse même 39 millièmes dans les Syrtes et sur les côtes de Tripoli, où soufflent les vents desséchants du désert.

De même la mer des Caraïbes paraît offrir une assez grande

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Courants*.

salinité relative à cause d'un excès de l'évaporation sur l'apport des eaux douces; mais le contraire a lieu dans le golfe de Saint-Laurent, dans la mer du Nord et surtout dans la Baltique et le Pont-Euxin. La salinité de la mer du Nord est, suivant les divers parages, de 30 à 35 millièmes, tandis que celle de la Baltique, mer peu profonde où viennent affluer tant de rivières et où le moindre vent modifie la teneur des eaux[1], ne s'élève pas tout à fait à 5 millièmes; dans le port de Cronstadt, elle n'est pas même de deux tiers de millièmes : c'est presque de l'eau douce. Quant à la mer Noire, elle garde beaucoup plus que la Baltique le caractère d'un golfe de l'Océan, car la salinité moyenne y est à peu près la moitié de celle de l'Atlantique.

Ces différences de salinité entre le bassin central de l'Atlantique et ses mers latérales n'ont rien qui puisse étonner; mais, à moins que l'énorme quantité des glaces antarctiques n'explique cette différence, on ne peut encore savoir pourquoi la mer du Sud et l'océan des Indes contiennent dans leurs eaux moins de matières salines que l'Atlantique. Tandis que celui-ci offre une salinité d'environ 36 millièmes, l'eau du Pacifique est inférieure en teneur saline de près d'un millième, et l'océan Indien non plus n'a guère que 35 millièmes de substances chimiques. Cependant l'Atlantique reçoit une plus grande abondance d'eau douce que les autres océans et l'évaporation n'y est probablement pas aussi forte en moyenne que dans la mer des Indes. Quoi qu'il en soit, les golfes de l'océan Indien offrent des phénomènes analogues à ceux des méditerranées de l'Atlantique. Ainsi la mer Rouge, dans laquelle il ne se jette pas un seul cours d'eau permanent et où l'évaporation se produit avec une grande intensité, présente l'énorme salinité de 43 millièmes : pareille proportion ne se trouve que dans les lacs salés de l'intérieur des terres[2].

Le chlorure de sodium ou sel de cuisine forme à lui seul, nous l'avons dit, les trois quarts de la salinité des eaux de la mer: c'est là vraiment le sel caractéristique de l'Océan, celui

1. Von Sass, *Zeitschrift für die Erdkunde*, XII, 1867.
2. Forchhammer, *Philosophic Transactions*, part. I, 1865.

qui contribue le plus à lui donner sa saveur propre et cette odeur dont s'imprègne le vent marin chargé de la fine écume des vagues. L'air qui repose sur la mer contient lui-même du sel jusqu'à une hauteur considérable : à 600 mètres d'élévation au-dessus de la côte, sur les flancs de la montagne qui domine la ville péruvienne d'Iquique, M. Bollaert a constaté que les étoffes lavées à l'eau distillée se recouvraient en quelques jours d'une légère croûte de sel [1].

L'épaisseur de la couche de chlorure de sodium cristallisé qui se formerait dans la haute mer serait en moyenne de 14 millimètres par mètre d'eau, de sorte que si l'on pouvait s'imaginer l'évaporation des eaux de l'Océan, il resterait au fond de son lit, évalué à 5 kilomètres de profondeur, une assise de sel épaisse de 70 mètres en moyenne, ce qui représenterait pour toute la mer plus de 27 millions de kilomètres cubes. On comprend qu'avec des quantités aussi considérables de chlorure de sodium en solution les eaux aient pu suffire à former les énormes couches de sel gemme qui se trouvent dans la terre en diverses parties des continents, sans compter bien d'autres gisements qui restent encore à découvrir et qui, tôt ou tard, nous seront révélés par les travaux des mineurs ou les forages artésiens.

Du reste, on peut voir la mer à l'œuvre sur toutes ses côtes basses, où elle dépose des couches salines, destinées à devenir à la longue des masses de sel gemme, dès qu'elles seront enfouies dans l'intérieur de la terre par la formation de strates plus modernes. Lorsque, à la suite d'une tempête ou d'une forte marée, les eaux de l'Océan s'étalent en une mince nappe sur une plage horizontale ou dans quelque dépression peu profonde, cette faible couche liquide, épanchée sur une vaste surface, s'évapore rapidement sous les rayons du soleil et laisse à sa place une légère croûte blanche de cristaux salins ; d'autres nappes, poussées par la houle ou le flux dans le même bassin d'évaporation, disparaissent également en formant de nouvelles couches de cristaux ; c'est ainsi que se forment graduellement, au bord

1. *Antiquities*, p. 258.

de la mer, de même que sur les plages des lacs salés et des mers intérieures, de véritables bancs d'une épaisseur considérable[1].

Même la mer Noire, où la proportion de sel est relativement très-peu considérable, est, sur une grande partie de son pourtour, bordée de ces marais salants naturels. En Bessarabie, au sud d'Odessa, trois « limans » d'une superficie totale de plu-

LIMANS SALINS DE LA BESSARABIE.

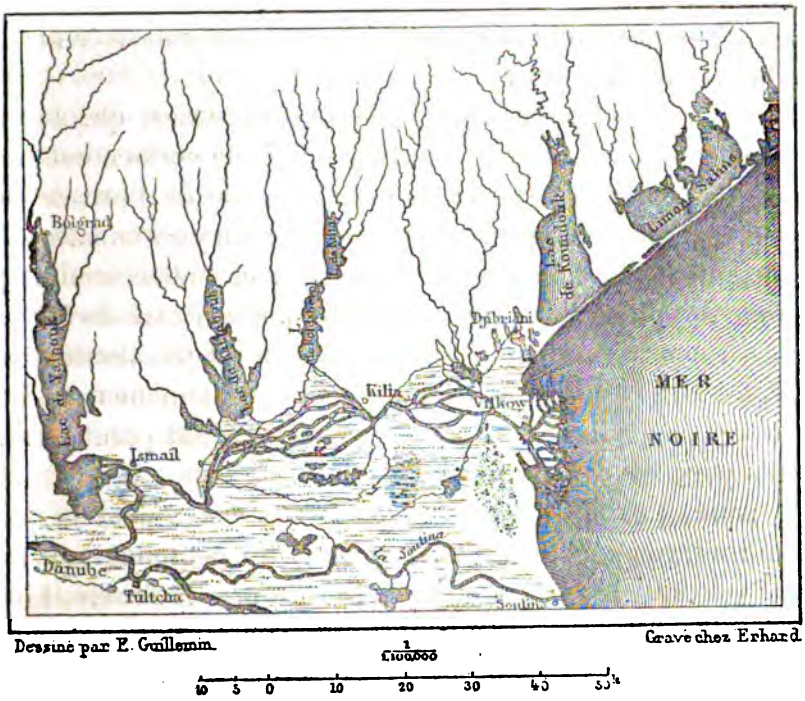


Fig. 12.

sieurs centaines de kilomètres carrés cessent de recevoir en été leurs affluents d'eau douce, et toute l'eau qui s'y est épanchée en hiver s'évapore en laissant une croûte de sel; vers le centre des bassins de cristallisation, la masse solide finit même par avoir trois décimètres d'épaisseur. En 1826, ces fabriques naturelles, exploitées par les indigènes, produisaient environ 120 mille tonnes de sel pur[2]. A une époque antérieure, avant

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs*.
2. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*.

que le Danube n'eût empli son delta d'alluvions, les limans d'eau douce disposés parallèlement aux limans de la côte étaient aussi des lacs salins. Dans la plupart des contrées populeuses de l'Europe occidentale, l'homme change les plages vagues en marais salants aux contours réguliers; les dépressions inégales, où l'eau de mer s'évaporait au hasard, sont transformées en bassins où la nappe liquide est conduite de compartiment en compartiment pour se saturer et se déposer en couches égales de sel pur; mais ce ne sont là que des travaux d'aménagement : l'homme se borne à régulariser l'œuvre de la mer elle-même[1].

Outre le sel commun, plusieurs substances, qui se trouvent exceptionnellement dans les eaux de la surface continentale, font partie de la composition normale de l'eau de mer. Les divers corps simples que la science a pu y reconnaître, soit directement par l'analyse du liquide, soit indirectement par l'étude des plantes qui tirent toute leur nourriture de l'Océan, sont au nombre de vingt-huit; mais il n'est pas douteux que tous les autres corps ne soient contenus également dans l'eau de mer, et nombre d'entre eux n'échapperont point aux regards perçants des chimistes.

Après l'oxygène et l'hydrogène, qui constituent la masse liquide elle-même, les principaux éléments contenus dans l'eau marine sont : le chlore, l'azote, le carbone, le brome, l'iode, le fluor, le soufre, le phosphore, le silicium, le sodium, le potassium, le bore, l'aluminium, le magnésium, le calcium, le strontium, la baryte. Le fucus ordinaire et les autres varechs renferment la plupart de ces substances ainsi que plusieurs métaux. On a découvert du cuivre, du plomb, du zinc dans les cendres du *fucus vesiculosus;* du cobalt, du nickel, du manganèse dans celles de la *zostera marina.* Le fer peut être obtenu directement par l'analyse de l'eau de mer; enfin l'argent se trouve dans un zoophyte, le *pocillopora.* Forchhammer a retiré d'une branche de ce corail environ un trois-millionième d'argent mêlé à six fois la même quantité de plomb. Une faible propor-

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *le Travail de l'Homme.*

tion d'argent se précipite sur la carène des navires par suite du courant magnétique établi entre le doublage de cuivre et l'eau de mer environnante[1]. Enfin dans les chaudières de bateaux à vapeur alimentées d'eau de mer, on a trouvé de l'arsenic[2]. Il est vrai que ces diverses substances n'existent dans l'eau qu'en proportions infinitésimales, et c'est uniquement par des moyens indirects que la chimie parvient à les révéler : la masse totale de l'argent qui se trouve dans la mer immense est évaluée seulement à 2 millions de tonnes.

Les mers ayant reçu très-probablement des couches terrestres, sans cesse érodées par les eaux courantes, tous les corps qu'elles tiennent en solution, on en doit conclure que les proportions de ces corps ont continuellement varié durant les âges géologiques : la salinité se modifiait d'âge en âge, suivant les diverses quantités de substances solubles que les fleuves apportaient dans l'Océan et que celui-ci rendait à terre, soit directement, en les déposant sur ses rivages, soit indirectement en les fixant dans les tissus de ses plantes, de ses coraux et des autres organismes qui le peuplent. Par d'ingénieuses comparaisons entre les faits actuels et ceux qui semblent s'être accomplis jadis dans les couches sédimentaires, plusieurs géologues ont essayé de déterminer si les substances en solution dans l'eau marine ont augmenté ou diminué ; mais les conclusions auxquelles ils sont arrivés reposent encore sur des données trop hypothétiques pour qu'il soit possible d'y voir déjà une nouvelle conquête de la science. Seulement il est certain que de nos jours les proportions des corps dissous n'ont point cessé de varier dans chaque mer. On peut en juger par la différence énorme qui s'est produite entre la salinité de la Caspienne et celle de la mer Noire, deux bassins qui faisaient partie du même océan à une époque géologique récente.

L'eau de la mer renferme aussi une grande quantité de gaz, dont les proportions changent constamment avec la chaleur, la lumière, le mouvement des vagues, la pression baro-

1. *Philosophic Transactions*, part. I, 1865.
2. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie.*

métrique. Les eaux salées retiennent mieux l'air dissous que ne le font les eaux douces, et le volume qu'elles en absorbent est en général supérieur d'un tiers à celui qui se trouve dans les rivières : il varie d'un cinquième à un trentième et s'accroît graduellement de la surface jusqu'à la profondeur de 600 et 700 mètres[1]. L'acide carbonique est contenu aussi en quantité relativement très-considérable dans l'eau de l'Océan, ainsi qu'on pouvait le prévoir, à cause des myriades pullulantes d'animaux marins. Sous l'influence de la lumière, les plantes et les infusoires décomposent cet acide, qui diminue ainsi pendant le jour pour s'augmenter pendant la nuit. Quant à la quantité d'oxygène dissous, elle oscille en sens inverse; le jour elle s'accroît pour se réduire durant les ténèbres. Comme par une sorte de respiration, la grande mer, cette immensité vivante d'organismes, absorbe et dégage alternativement les gaz nécessaires au maintien de la vie, en mesurant chaque souffle à la course journalière du soleil.

IV.

Couleurs diverses des eaux marines. — Reflets, transparence et couleur propre. — Température des couches profondes.

Grâce à la double propriété que possède l'eau de réfléchir la lumière et de se laisser pénétrer par les rayons jusqu'à une grande profondeur, elle offre successivement les couleurs les plus variées, les teintes les plus délicates, les nuances les plus fugitives et les plus changeantes. La mer reproduit en le modifiant le tableau varié du ciel avec ses jeux et ses gradations de lumière et d'ombre. A l'aurore, la surface de l'eau s'éclaire doucement des lueurs de l'atmosphère, encore pâles et timides, mais le brasillement des flots devient de plus en

1. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie.*

plus éclatant et le grand jour fait ruisseler le feu sur les vagues. Chaque mouvement du monde des airs se traduit par un changement dans l'aspect de l'eau, chaque nuage en passant se mire avec ses formes et les nuances de ses vapeurs, chaque souffle du vent qui fait frissonner les flots renouvelle, sur la nappe de l'Océan, l'harmonie du coloris mobile; puis, quand le soir vient, la mer rend au ciel tout son éclat de pourpre et de flamme. C'est alors qu'on voit à l'horizon « deux soleils venir au-devant l'un de l'autre. »

Mais l'eau ne doit pas seulement sa beauté à la splendeur du ciel, elle est belle aussi par sa transparence, et les corps suspendus dans la masse liquide se montrent jusqu'à une certaine profondeur, en modifiant par leur coloration propre la teinte générale de la mer. Les animaux, poissons ou cétacés, qui remontent vers la surface ou qui glissent d'un trait sous les flots, les font briller soudain des reflets changeants du gris, du rose, du vert et de l'argent. Les fucus croissant au fond de l'eau varient aussi l'aspect des couches liquides qui les recouvrent, et là où ces lits de plantes alternent avec des bancs de roche nue ou des traînées de sable, la mer offre un admirable mélange de nuances diverses aux contours indécis et tremblants. Dans les parages où l'eau est d'une grande transparence, on peut reconnaître distinctement la couleur du fond jusqu'à 20, 30 et même 45 mètres au-dessous de la surface, ainsi qu'il a été constaté par des observations faites avec le plus grand soin[1]. Du reste, cette transparence ne paraît point dépendre de l'intensité de la lumière reçue, car dans les mers arctiques on distingue les objets flottants à des profondeurs aussi fortes que dans la mer des Antilles, et c'est même sous les latitudes polaires que le regard aurait pu sonder jusqu'à la plus grande distance au-dessous de la surface. D'après Scoresby, le consciencieux explorateur des mers polaires, le fond des eaux pures de ces régions resterait parfois visible jusqu'à 130 mètres de profondeur[2]. Il est vrai que, par suite

1. Cialdi, *Sul moto ondoso del mare*, p. 284.
2. *Arctic Regions*. — Voir aussi la notice d'Arago, *Œuvres complètes*, t. IX.

de la différence des climats et des organismes qui en dépendent, les espaces sous-marins sont dans la zone tropicale bien autrement curieux à contempler que dans le voisinage des pôles. Rien de plus beau que de voguer sur une de ces mers où, tout en voyageant sans crainte des écueils, l'on ne cesse de voir le lit des eaux se dérouler au loin sous la proue du navire. Les algues nombreuses, vertes ou roses, ondulent gracieusement comme les herbes d'un ruisseau; les coquillages rampent sur le fond; les cétacés, les poissons, les étoiles de mer aux couleurs éclatantes, et tant d'autres animaux aux formes étranges glissent lentement ou s'élancent comme des flèches à travers l'eau bleue brillant de mille lueurs changeantes; les némertes et autres rubans animés déploient mollement leurs anneaux transparents : on pourrait se croire suspendu au-dessus d'une autre terre et flotter dans un navire aérien. L'écume blanche des vagues que soulève la quille du vaisseau et les couleurs irisées qui font resplendir les gouttelettes éparses ajoutent encore au charme de ce merveilleux tableau.

Même lorsque le fond n'est pas distinctement visible, il ne laisse pas de se révéler par la nuance particulière qu'il donne aux eaux : en général, la couleur de la mer est moins foncée dans le voisinage des côtes, et jusqu'à 200, peut-être même à 300 mètres de profondeur, une vague pâleur annonce parfois au regard exercé la proximité relative du fond. Non loin des côtes du Pérou, de Tessan s'aperçut que la mer avait pris tout à coup une teinte d'un vert-olive foncé, et quand il fit jeter la sonde, il se trouva que la vase du fond était précisément de cette même couleur. De nombreux navigateurs ont constaté que sur une partie du banc des Aiguilles, où la masse liquide n'a pas moins de 200 mètres d'épaisseur, la mer passe subitement du bleu au verdâtre[1]. Enfin, au large de Loango, les eaux ont toujours une couleur brune, répondant à celle du fond, que Tuckey a trouvé d'un rouge intense. Cette coloration est-elle due à la répercussion de la lumière, qui des-

1. Arago, *Œuvres complètes*, t. IX.

cend à travers les épaisses couches liquides jusqu'au lit marin et se reflète vers la surface, ou plutôt provient-elle, ainsi que le pense Cialdi, des molécules de vase en suspension[1]?

Une autre question difficile à résoudre est celle de savoir quelle est la couleur propre de l'eau marine. Sans parler de colorations locales provenant, de même que la phosphorescence, d'animalcules sans nombre[2], les diverses parties de l'Océan offrent presque toujours, quel que soit l'état de l'atmosphère, une teinte normale facile à distinguer des nuances accidentelles. Ainsi, pour citer un des contrastes les plus saisissants, dans le golfe de Gascogne l'eau est d'un vert sombre, tandis que dans le golfe du Lion elle est d'un magnifique azur, plus foncé que celui du ciel. La merveilleuse couleur bleue qui remonte des profondeurs de la grotte de Capri, si fréquemment visitée par les voyageurs, est un exemple bien connu du degré d'intensité auquel peut atteindre le bleu propre aux flots de la Méditerranée. Dans les parages de l'Atlantique tropical et de la mer du Sud, l'azur de l'Océan n'est pas moins beau que celui de la mer Tyrrhénienne et de l'Archipel, tandis que, dans la direction des pôles, l'eau prend graduellement une teinte verdâtre. Les physiciens ont conclu de ce fait que la réfraction des rayons lumineux, beaucoup plus vifs sous les tropiques, joue le principal rôle dans la coloration bleue des mers. Maury pense que la salure est aussi l'une des causes qui contribuent le plus à donner la teinte azurée, et fait remarquer que le Gulf-stream des côtes américaines, supérieur en salinité et en température aux eaux environnantes, est également d'un bleu plus foncé; de même les minces nappes liquides introduites dans les marais salants du littoral gagnent en intensité de couleur à mesure que le sel s'y concentre. Enfin il est fort possible que la coloration de la mer soit due en grande partie, comme les merveilleuses teintes des lacs de la Suisse[3], aux innombrables corpuscules en suspension sur lesquels vient se briser la lumière.

1. *Sul moto ondoso del mare,* p. 287.
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Faune.*
3. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs.*

La loi de la distribution des températures dans les couches profondes n'est pas encore mieux établie que ne l'est celle de la coloration de l'Océan. A la surface marine, il est aussi facile de faire des observations que dans l'air, et l'on a pu constater sans peine que cette nappe superficielle offre en moyenne, sous tous les climats, le même degré de chaleur que l'atmosphère surincombante. Des régions polaires à la zone équatoriale l'eau se réchauffe donc assez régulièrement, et du point de congélation, sous le cercle glacial, la température s'élève à 20 et 25 degrés sous les tropiques, même à 30 degrés et jusqu'à plus de 32 degrés dans le Pacifique, dans la mer Rouge et l'océan Indien[1]. Quant à la croissance ou à la décroissance de la chaleur dans le sens vertical, on avait encore récemment à cet égard les idées les plus vagues à cause du manque de sondages précis : c'est qu'il est en effet bien difficile de faire descendre à plusieurs centaines ou même à plusieurs milliers de mètres des appareils thermométriques assez solides pour résister à l'énorme pression d'une atmosphère par chaque couche liquide de 10 mètres d'épaisseur.

James Ross, l'un des premiers, essaya d'appliquer les ressources de la science moderne à une exploration systématique de la température des profondeurs marines ; mais il a peut-être eu le tort de généraliser trop hâtivement les résultats encore incomplets qu'il avait obtenus, et, dans son empressement, il crut avoir découvert une loi que les recherches subséquentes des navigateurs n'ont pas encore définitivement confirmée. Il pensa pouvoir établir que sous l'équateur la température marine diminue graduellement jusqu'à 2,200 mètres, où elle est seulement de 4 degrés centigrades. De chaque côté de l'équateur, cette limite de 4 degrés se relèverait progressivement vers la surface et c'est par le cinquantième degré de latitude, dans l'hémisphère méridional, qu'elle finirait par atteindre le niveau de la mer. Plus loin, dans la direction du pôle, l'eau superficielle continuerait de se refroidir, tandis que la couche de 4 degrés s'abaisserait peu à peu jusqu'à la profondeur de

1. Fitz-Roy, *Weather-Book*, p. 81.

1,400 mètres. Ainsi que le représente la figure suivante, la nappe de température uniforme décrirait au sud de l'équateur une longue courbe, n'effleurant la surface qu'en un seul point. Admettant avec les physiciens de son temps que l'eau de mer a sa plus grande densité, et par conséquent son plus

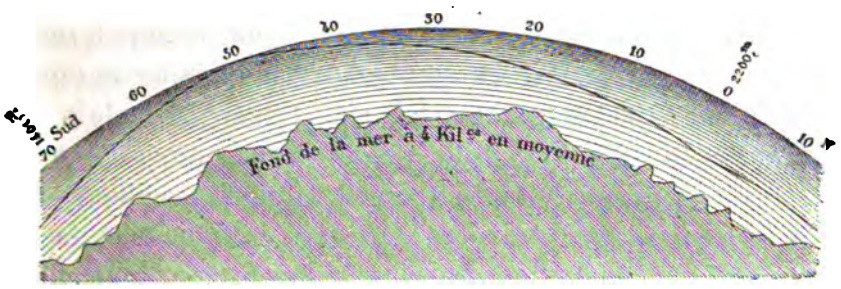


Fig. 13. — Nappe d'eau présumée à la température de 4 degrés.

grand poids relatif, à 4 degrés au-dessus du point de congélation, James Ross en concluait que toutes les eaux profondes inférieures à cette couche de 4 degrés ont la même température, et s'amassent, en vertu de leur condensation, au fond des bassins océaniques.

Toutefois il semble prouvé par les observations de Neumann[1], de Despretz, de Marcet, de Horner et autres que, si la plus forte densité de l'eau douce correspond en effet à 4 degrés centigrades, l'eau de mer n'atteint ce maximum qu'à moins de 2 degrés au-dessous du point de glace ou même à des températures de — 4° et de — 5° 5; par conséquent, les conclusions auxquelles était arrivé James Ross seraient mises à néant. Les expériences faites dans les petits laboratoires de chimie, où les substances sont traitées en faibles quantités, ne sauraient, il est vrai, donner une idée parfaitement exacte des phénomènes qui ont pour théâtre la nature elle-même, et qui s'accomplissent, soit dans les espaces de l'air, soit dans les grands bassins océaniques. Ainsi que le disent von Freeden[2] et surtout le célèbre météorologiste Mühry, les flots immenses et l'eau salée contenue dans un

1. *Ueber die Dichtigkeit beim Meerwasser.*
2. *Mittheilungen von Petermann,* VI, 1866.

tube de verre n'obéissent pas complétement aux mêmes lois de température et de densité; mais en attendant que la différence soit scientifiquement constatée, il n'est pas encore permis d'affirmer d'une manière absolue, contre les expériences des chimistes, la théorie d'après laquelle les masses salées de la mer offriraient, en se refroidissant, des phénomènes identiques à ceux des lacs d'eau douce. D'ailleurs, pendant les dernières années, de nombreux observateurs des mers polaires ont trouvé à de grandes profondeurs des couches liquides dont la température était inférieure à 4 degrés[1].

Ce qui reste des recherches de l'éminent navigateur James Ross, c'est que, dans les mers tropicales et tempérées, la chaleur diminue graduellement jusqu'à une profondeur considérable. C'est là ce qu'ont mis hors de doute les sondages de Fitz-Roy et autres explorateurs. Au sud de l'île de Madagascar, la surface ayant alors une température de 24 degrés centigrades, Fitz-Roy constata que le thermomètre s'abaissait de la manière la plus régulière jusqu'à 768 mètres, où s'arrêtèrent les opérations de sondage, et où la température indiquée dépassait à peine 11 degrés[2]. Mais au-dessous, près du fond de l'Océan, l'eau ne s'attiédit-elle pas à cause de la chaleur normale des couches rocheuses de la terre? De même que les couches inférieures de la neige sont pénétrées par la température plus élevée du sol qu'elles recouvrent, de même les masses liquides doivent recevoir de la chaleur des roches qui s'étendent au-dessous. Bischoff a calculé que si les mers équatoriales étaient absolument immobiles, leurs eaux seraient en ébullition à 2,210 mètres de la surface. Même sous la zone arctique et dans les mers sans profondeur, une certaine quantité de chaleur doit toujours s'élever du fond[3].

Dans les bassins fermés des mers intérieures, les observations thermométriques sont beaucoup plus faciles à faire qu'au milieu du grand Océan, parce que les eaux y sont en général moins profondes, et que les courants y troublent moins

1. Fitz-Roy, *Weather-Book*, p. 81.
2. *Adventure and Beagle*, deuxième vol. Appendice, p. 303.
3. *Internal heat of the Earth*, p. III.

les gradations naturelles de la température. Ainsi l'eau n'est pas très-froide dans les profondeurs de la Méditerranée et n'offre que de très-faibles oscillations thermométriques; de 180 à 500 mètres au-dessous de la surface, la masse liquide a déjà d'une manière permanente la température moyenne qu'elle garde pendant toute l'année et qui paraît correspondre avec la température moyenne annuelle des terres voisines, soumises à tous les changements brusques de la chaleur et du froid[1]. Tandis qu'en été les nappes superficielles ont environ 23 degrés centigrades, les couches liquides comprises entre 500 mètres et le fond même de la Méditerranée se trouvent à 15 degrés, ce qui est à peu près la moyenne annuelle pour les pays riverains. Dans l'Archipel, dont les eaux profondes sont plus froides, probablement à cause du courant sorti de la mer Noire, la température de la surface est en été de 25 à 26 degrés, tandis qu'à 180 mètres à peine elle est seulement de 12 à 13 degrés. La Méditerranée se partageant en bassins distincts séparés les uns des autres par des seuils intermédiaires qui sont situés précisément de 180 à 500 mètres au-dessous de la surface, il résulte que les variations de température produites par les mouvements des courants et des contre-courants s'arrêtent à la hauteur des seuils : l'eau de chaque bassin, relativement tranquille, se maintient ainsi d'une manière presque constante dans le même état thermométrique[2].

V.

Formation des glaces. — Glaçons, banquises et montagnes de glace.
Glaces de la Baltique et de la mer Noire.

Dans les mers polaires, l'abaissement de la température a pour conséquence la formation des glaces. Pendant les longs

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Climats*.
2. Spratt, *Nautical Magazine*, janv. 1860.

hivers de ces froides régions, l'eau tranquille des baies et des golfes se congèle sur le pourtour des côtes, et la masse cristalline, gagnant incessamment sur les mers, finit par s'étendre au large jusqu'à de très-grandes distances. C'est la « glace de terre ». La surface marine disparaît, comme celle des lacs, sous une couche solide; mais le mode de formation de la croûte glacée diffère; car, dans les fleuves et les bassins d'eau douce, les cristaux se montrent d'abord presque toujours à la superficie, et dans les mers qui n'ont pas une grande profondeur, c'est généralement sur le lit même que la masse liquide se congèle.

En effet, les eaux salées n'ont point, comme les eaux pures, leur plus grande densité à la température de 4 degrés centigrades; mais elles deviennent de plus en plus pesantes à mesure qu'elles se refroidissent. Les couches liquides les plus froides étant aussi les plus lourdes, descendent verticalement vers le fond pour y remplacer des couches plus légères et d'une température moins basse. Tandis que dans les rivières les eaux qui s'abaissent vers le fond ont une chaleur normale de 4 degrés, supérieure au point de congélation, l'eau marine qui tombe vers les profondeurs peut avoir été refroidie jusqu'à zéro ou même à plusieurs degrés au-dessous; lorsque la masse n'est point agitée, elle reste liquide, puis sous un ébranlement quelconque elle se prend subitement. Parfois, au commencement de l'hiver, les marins et les pêcheurs de la Baltique et des côtes occidentales de la Norvége se voient tout à coup environnés de glaçons, qui s'élèvent du lit de la mer et dont les plaques contiennent encore des fragments de fucus. L'apparition se produit d'une manière tellement rapide que souvent les bateaux courent le risque d'être écrasés entre les masses solides qui s'entassent autour d'eux, et l'équipage se trouve en danger. Au large des côtes rocheuses du Groenland, du Labrador, du Spitzberg, ces glaces de fond soulèvent fréquemment de grosses pierres arrachées des écueils [1].

En plein Océan, des glaces se forment aussi à la tempé-

1. Edlund, *Poggendorf's Annalen*, CXXI.

rature moyenne de 2° 2 d'après Mühry. En hiver, lorsque l'air est calme et que la neige tombe à gros flocons sur les flots tranquilles, la mer est bientôt recouverte d'une sorte de bouillie qui se change graduellement en pellicules de glace. Que le vent brise cette couche à peine formée, et les petits fragments épars s'entourent de neige à demi fondue, qui ne se mêle point à l'eau salée de la mer, et qui brille faiblement de nuances irisées par les rayons d'un soleil oblique; mais ce spectacle ne dure point, et le froid reforme bientôt la couche glacée[1]. Même en dépit du vent et de la houle, d'innombrables aiguilles, qui donnent à la surface de l'eau une apparence pâteuse, étendent souvent leur réseau sur la surface liquide et bientôt se soudent en une couche épaisse que le froid de plus en plus rigoureux grossit incessamment. Par la chimie naturelle dont la mer est l'immense laboratoire, la masse glacée est en grande partie débarrassée du sel qu'elle renfermait; car, d'après les observations de M. Walker, elle n'en contient plus qu'une proportion de 5 millièmes, soit environ le cinquième de la quantité normale. L'eau voisine de la glace nouvelle se mélange au sel expulsé : elle devient plus lourde, et comme le point de congélation s'abaisse pour elle en même temps, elle descend dans les profondeurs sans devenir solide; telle est la raison pour laquelle dans la haute mer, les couches inférieures de l'eau se congèlent rarement au-dessous de la nappe superficielle, ainsi qu'on pourrait s'y attendre[2].

Par suite des rencontres fréquentes qui ont lieu entre ces glaces ballottées des flots, elles prennent en général la même forme circulaire que les glaçons des fleuves : ce sont des rondelles d'un faible diamètre, légèrement relevées sur leurs bords; les marins anglais les appellent « gâteaux de glace » (*ice-cakes*). Mais le froid devenant plus intense, ces disques finissent par adhérer les uns aux autres, et bientôt des milliers d'entre eux, unis en un vaste champ, forment des îles qui s'étendent jusqu'aux extrémités de l'horizon. Plusieurs

1. Gustave Lambert, *Bulletin de la Société de Géographie*, déc. 1867.
2. Neumann, *Ueber die Dichtigkeit beim Meerwasser.*

« banquises » ont une superficie de centaines de milliers de kilomètres carrés, ou même constituent de véritables continents. Celles qui bordent les rivages orientaux du Groenland ne se sont point fondues depuis quatre siècles, et défendent l'approche de la terre aux navigateurs; celles qui se rattachent aux côtes de la Sibérie sont encore plus considérables à cause de la longue étendue des rivages qui leur servent de point d'appui. Dans l'archipel polaire de l'Amérique, les glaces barrent presque chaque année l'entrée des canaux, et se dressent en murs infranchissables. Que de fois les explorateurs des mers arctiques ont en vain tenté de trouver un passage à travers ces barrières et sont restés emprisonnés dans la masse solide après s'être aventurés dans quelque baie trompeuse de la banquise! Une sorte de mirage, connu par les navigateurs allemands sous le nom d'*eisblink*, révèle de loin la nature de la glace dans laquelle cherchent à s'aventurer les bâtiments. Si le ciel est légèrement blafard, la glace est faible et d'origine récente; si les reflets sont jaunâtres, la mer est recouverte de banquises; un horizon blanchâtre indique la présence d'amas de blocs entassés; enfin la réverbération des champs de neige rend l'atmosphère sombre et fumeuse.

Les interminables surfaces des banquises sont presque toujours précédées, du côté de la haute mer, de blocs et de disques oscillant et tournoyant sur les flots : ce sont les îles éparses annonçant le voisinage des continents de glace. Ceux-ci, qui s'élèvent en moyenne de 1 à 2 mètres au-dessus de l'eau, et dont la base descend jusqu'à 6 ou 8 mètres sous la surface, sont quelquefois d'une assez grande uniformité d'aspect, et quand la neige recouvre toutes les inégalités, la banquise paraît transformée en une plaine unie comme les steppes de la Russie. Cependant la glace est beaucoup plus souvent rugueuse; fragments de banquises, blocs et débris de glaciers, jadis voguant séparément sur la mer, puis juxtaposés par les courants et sondés par le phénomène du regel[1], sont mêlés en un véritable

1. Voir, dans le 1er volume, *les Glaciers;* — Tyndall, *Cours scientifiques*, n° 27, 1866.

chaos. Des monticules bizarres, formés de tous les débris qu'ont rejetés les glaçons en se heurtant les uns contre les autres, apparaissent çà et là érigés à la hauteur de plusieurs mètres; il en est même que l'on pourrait confondre avec les énormes blocs tombés des glaciers du Groenland ou du Spitzberg, et qui ne s'en distinguent que par la saveur légèrement saline de leur glace. Ces amas dominent au loin la mer et restent encore debout longtemps après que la banquise est fondue : dans les mers de la Sibérie, où on leur donne le nom de *toroses*, la plupart de ces monticules, composés des glaces de l'hiver précédent, se délitent facilement aux premières chaleurs de l'été; mais il en est qui se conservent d'année en année et restent indestructibles, peut-être pendant des siècles, sous les rayons du soleil. Les chasseurs ostiaks, qui voient souvent de ces toroses échoués sur le littoral sibérien, les désignent sous le nom de « glaces d'Adam, » et, s'imaginant qu'elles sont contemporaines de l'origine du monde, prétendent que l'attaque du feu lui-même est impuissante contre ces masses cristallines[1].

Au printemps et en été, lorsque les fortes chaleurs commencent dans la zone polaire, l'effort des courants, dont l'action se fait constamment sentir sous les banquises, détache d'énormes champs de glace ayant parfois plusieurs centaines de kilomètres de largeur, et les emporte au loin vers la haute mer. Les navires qui se trouvaient pris dans la couche glacée sont alors entraînés à la dérive avec le fragment de banquise. Souvent les courageux explorateurs qui s'étaient avancés jusqu'au delà de la mer de Baffin ont été ramenés ainsi par le courant à des centaines et des milliers de kilomètres en arrière, et n'ont pu récupérer le chemin perdu qu'au prix des plus pénibles efforts, ou même ont dû abandonner complétement leur entreprise. Il en est de même dans les mers du Spitzberg : en 1777, dix navires hollandais dérivèrent avec les glaces de plus de 2,000 kilomètres vers le sud-ouest, et furent broyés en route. C'est un semblable phénomène qui empêcha

1. F. de Wrangel, *Voyage... Appendice*, p. 314

peut-être le capitaine Parry d'atteindre le pôle Nord. S'étant déjà rapproché de ce point plus que tous les navigateurs précédents, il s'était lancé sur un traîneau à travers la banquise; mais chaque jour, malgré la grande distance parcourue dans la direction apparente du pôle, il se trouvait plus éloigné que la veille du but vers lequel il marchait : c'est que le continent de glace qui le portait était lui-même entraîné rapidement du côté du sud. Parfois, des ours blancs, voiturés par les glaçons, prennent pied sur les côtes de la Laponie [1].

Une fois rompue, la banquise disparaît bientôt : les gros fragments, poussés par les courants et les vagues, se heurtent les uns contre les autres avec la force énorme que leur donne un poids de centaines de mille ou de millions de tonnes; ébranlées par le terrible choc, ces masses se divisent en débris de moindres dimensions; les soudures de glace nouvelle se brisent autour des disques les plus anciennement formés, les tours et les aiguilles qui se dressent çà et là s'effondrent et chavirent, et peu de jours après que la fonte a commencé, il ne reste plus que de petits glaçons et des blocs inégaux oscillant lentement avec le flot. Les organismes infiniment petits de la mer aident aussi à cette rapide disparition des banquises; car d'innombrables diatomées siliceuses s'attachent à la surface inférieure des glaçons et contribuent à les fondre par la chaleur qui s'en dégage : la glace « pourrit, » disent les marins [2]. Sans chercher à se rendre compte de tous les agents de désagrégation, les habitants du Groenland s'imaginent que la masse entière s'est engouffrée au fond de l'Océan. Même dans la Baltique, où ce phénomène est relativement beaucoup moins remarquable, les marins danois affirment qu'au printemps les glaçons s'abîment dans les eaux; cependant aucun d'eux n'a vu se produire cette immersion [3]. Mais ce qu'il est facile de constater, ce sont les bruits étranges qui accompagnent toujours la débâcle. Au fracas des glaces entre-choquées, plus strident, plus terrible que celui

1. Barto von Löwenigh, *Mittheilungen von Petermann*, Ergänzungsheft, XVI.
2. Robert Brown, *Mittheilungen von Petermann*, I, 1869.
3. Forchhammer, *Philosophic Transactions*, part. I, p. 233, 1865.

des canons qui se répondent, au clapotement des flots heurtés, au gémissement des rondelles déchirées et de l'air qui s'échappe, se joint une sorte de pétillement semblable à celui des gouttes de pluie tombant sur des plaques de métal. Ce bruit, le même que l'on entend sur les glaciers des montagnes, seulement beaucoup plus fort, provient, ainsi que l'a prouvé Tyndall, de l'incessante explosion des cristaux qui composent la masse.

Quelle que soit la beauté pittoresque des glaces de formation marine qui constituent les banquises, elles le cèdent singulièrement sous ce rapport aux masses qui se sont détachées des glaciers du Groenland, du Spitzberg et des autres terres du pôle boréal, soit en s'écroulant parce qu'elles se trouvaient en surplomb au-dessus des eaux relativement tièdes qui en rongeaient la base, soit en remontant des profondeurs de l'eau glacée sous laquelle elles avaient continué de glisser[1]. On comprend l'immense chaos que tous ces fragments doivent produire dans les étroites baies ou dans les bras de mer trop resserrés. C'est un de ces prodigieux entassements que l'intrépide Hayes a dû traverser dans le détroit de Smith, en faisant preuve d'une persévérance presque surhumaine.

Ces rochers d'apparence cristalline que charrie l'Océan sont la splendeur des parages arctiques. De dimensions souvent colossales, ils offrent parfois une architecture d'une régularité presque parfaite; mais ils prennent aussi les formes les plus variées et les plus bizarres : ce sont de hautes tours, des colonnes accouplées, des groupes de sculpture, des statues se dressant au-dessus de la mer comme des dieux de marbre. Dans les eaux relativement tièdes, comme celles du Spitzberg, que vient réchauffer le Gulf-stream, la glace est incessamment rongée, et la partie des masses flottantes qui s'élèvent au-dessus de la surface marine prend d'ordinaire l'apparence d'une sorte de pilier portant un large chapiteau plus ou moins incliné et frangé de stalactites. L'assise du sommet est blanche et parfois revêtue de neige, tandis que les cannelures du pilier, dont la

1. Voir, dans le 1er volume, le chapitre intitulé *les Neiges et les Glaciers*.

glace plus compacte est battue par le flot, ont la couleur de l'émeraude ou du saphir. Les soubassements des colonnes sont percés de grottes dans lesquelles l'eau s'engouffre avec un sourd murmure ; parfois ils sont criblés de trous d'un petit diamètre d'où chaque flot s'élance en jets divergents. Les gerbes argentées jaillissent alternativement de chaque côté du pilier, suivant les balancements que lui imprime la mer[1]. Dans les eaux très-froides, comme celles de l'archipel arctique, des phénomènes contraires se produisent. Au lieu d'être rongés et fondus par les vagues, les blocs tombés des glaciers commencent d'abord par s'accroître graduellement, à cause de la basse température du liquide dans lequel ils sont plongés, et qui se solidifie autour des énormes tours flottantes[2].

Les masses considérables détachées des glaciers sont connues sous le nom de montagnes de glace (*ice-bergs*). Le docteur Wallich a pu en mesurer quelques-unes sur les côtes du Groenland, en sondant la profondeur des bancs sur lesquels s'étaient échouées plusieurs de ces roches mobiles, et il a trouvé que pour les blocs de forme régulière, la partie située au-dessus du niveau de la mer n'est jamais en hauteur que du quatorzième au seizième de la partie plongeant dans les eaux. Quant aux masses dont la portion émergée se termine en cône ou en pyramide, elles descendent à une profondeur relative d'autant moins grande que la base est d'un volume plus considérable; mais l'élévation totale de la montagne de glace dépasse toujours sept à huit fois la hauteur de la partie visible.

Par ces proportions les marins peuvent juger de la grandeur réelle des masses glacées qui vont s'échouer sur les côtes de Terre-Neuve ou fondent lentement en flottant au loin dans l'Atlantique. On a vu des blocs qui se dressaient à 100 et 120 mètres de hauteur, de sorte que ces fragments de glacier avaient au moins 1,000 mètres du sommet à la base, c'est-à-dire l'élévation des plus grandes montagnes de l'Angleterre et de l'Irlande. Une de ces masses, rencontrée par le

1. Barto von Löwenigh, *Mittheilungen von Petermann,* Ergänzungsheft, XVI.
2. Edlund, *Poggendorf's Annalen,* CXXI.

navire *Acadia* un peu au large du banc de Terre-Neuve et au centre d'un dédale d'autres monts flottants, avait de 120 à 150 mètres de hauteur et se terminait par une sorte de dôme, rappelant d'une manière étonnante celui de la cathédrale de Saint-Paul. Vingt jours après, lors de son voyage de retour, *l'Acadia* retrouva la même montagne glacée à 110 kilomètres plus au sud. Un grand nombre d'autres édifices voyageurs ont été vus qui mesuraient des kilomètres en long et en large et dont le volume dépassait un ou même plusieurs milliards de mètres cubes. Sir John Ross a rencontré dans la baie de Baffin plusieurs blocs échoués à une profondeur de 475 mètres. Quant aux fragments de banquises, on en a rencontré qui n'avaient pas moins de 100 et de 150 kilomètres dans tous les sens et qui devaient peser jusqu'à 18 milliards de tonnes.

La lenteur du bloc de *l'Acadia,* avançant seulement de 5 kilomètres et demi dans la journée, prouve que les montagnes de glace ne suivent point sans résistance la marche du courant qui les entraîne : les chocs qu'elles subissent en route, leurs échouements partiels, les divers mouvements des eaux de la surface et des couches profondes qui les sollicitent parfois en sens opposés, retardent leur vitesse et souvent les changent en îlots stationnaires en apparence. Vers la fin de 1855, une rencontre inattendue permit de constater d'une manière exacte quelle avait été la marche d'une montagne de glace durant plus d'une année. Un baleinier américain, naviguant dans le détroit de Davis, aperçut une masse noire au milieu d'un groupe d'aiguilles flottantes : cette masse était le navire *Resolute,* que le gouvernement britannique avait envoyé à la recherche de Franklin, et que son équipage, aventuré dans un chaos de glaces, avait abandonné pour continuer sa route en traîneau. Lorsqu'on retrouva le bâtiment, il était déjà depuis seize mois retenu dans sa prison mobile, et pendant ce long temps il n'avait dérivé que de 1,400 kilomètres. Ainsi l'épave n'avait point dépassé dans sa marche vers l'Atlantique la vitesse de 120 mètres à l'heure : c'est là un progrès à peine sensible au regard. Le navire de Mac-Clintock, qui fut entraîné de la même manière vers l'Océan, mais sans avoir été aban-

donné par son équipage, resta prisonnier pendant 242 jours et descendit vers le sud de 1,920 kilomètres, soit environ 330 mètres par heure.

Pareilles à de gigantesques vaisseaux, les masses énormes des montagnes de glace échouent sur des protubérances du fond sous-marin, là où la sonde n'atteint pas même le lit de la mer à plusieurs centaines de mètres. Arrêté dans son mouvement de dérive vers le sud, le bloc puissant se désagrége peu à peu ou se partage en fragments qui vont à leur tour échouer plus loin sur quelque autre banc moins profond. Chaque jour, les vagues fondent et démolissent de grandes quantités de glaces. Celles-ci s'allégent en même temps des graviers et des pierres dont elles étaient chargées, et ne cessent d'exhausser le fond marin. Tous les ans, de nouvelles couches de rochers, de cailloux et de terres provenant des montagnes du Groenland et des archipels du nord de l'Amérique se déposent ainsi sur le banc de Terre-Neuve et dans les mers voisines, jetant les fondements d'un continent futur. Sans doute, le Grand-Banc, qui s'étend sur une étendue de 150,000 kilomètres carrés et dont la base plonge dans une mer de 8 à 10 kilomètres de profondeur, se compose en entier de ces alluvions d'origine glaciaire. Pendant la série des âges, les glaçons travaillent sans relâche à démolir les terres arctiques pour en édifier de nouvelles dans les mers de la zone tempérée.

Lors de la débâcle des glaces du nord, c'est-à-dire des premiers jours de mars au mois de juillet et même au mois d'août, les parages situés à l'est du banc de Terre-Neuve prennent l'aspect des mers arctiques. Le courant polaire descendu de la baie de Baffin, parallèlement aux côtes du Labrador, apporte alors en longues processions les débris des banquises et des glaciers du Groenland. Après avoir contourné le banc de Terre-Neuve, le courant s'infléchit vers le sud-ouest avec son fardeau de glaces, à cause du mouvement qui emporte la terre dans la direction de l'est et fait dévier par conséquent tous les corps mobiles venus du nord[1]. Entraînées par le flot

1. Voir, ci-dessous, p. 73.

qui les pousse à l'encontre du Gulf-stream et qui continue sa marche vers le sud-ouest au-dessous de ce courant superficiel de l'Atlantique, les montagnes, semblables aux navires qui fendent les vagues de leur taille-mer, passent majestueusement au travers de l'eau qui se heurte contre elles. Quelques fragments de puissantes banquises amenées du Groenland par les courants polaires, puis ramenées au nord par le Gulf-stream, se montrent aussi çà et là, marchant en sens inverse des convois. La carte suivante, empruntée à Redfield, indique les

VOYAGES DES GLACES ENTRE L'EUROPE ET L'AMÉRIQUE.

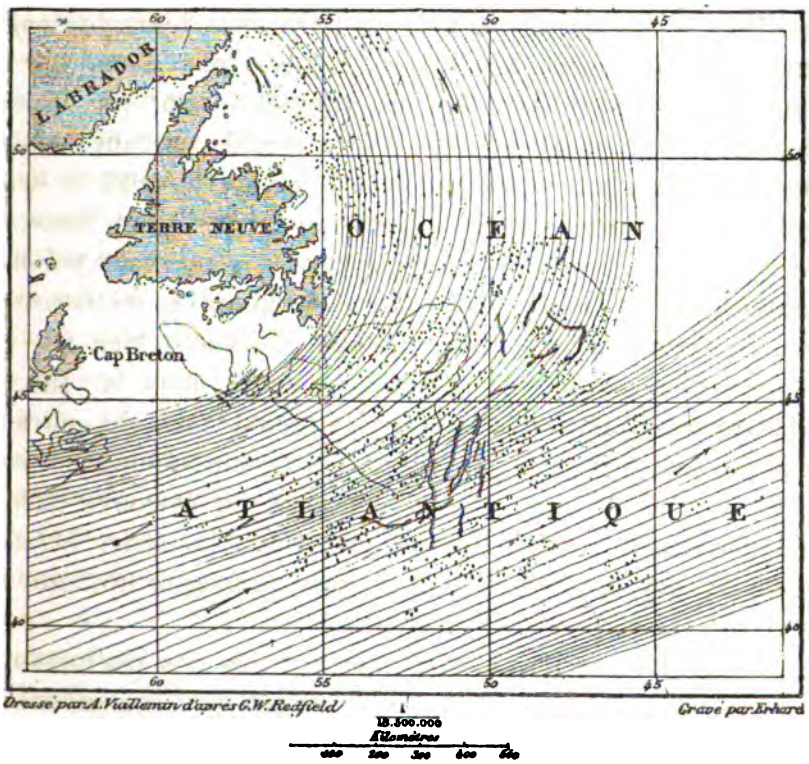


Fig. 14.

positions de monts et de champs de glace qui lui avaient été signalés dans les parages occidentaux de l'Atlantique boréal.

C'est principalement dans cette région de l'Océan que les flottilles de glace sont redoutables pour les navigateurs. Les marins de Terre-Neuve ne s'en approchent guère de plus d'un

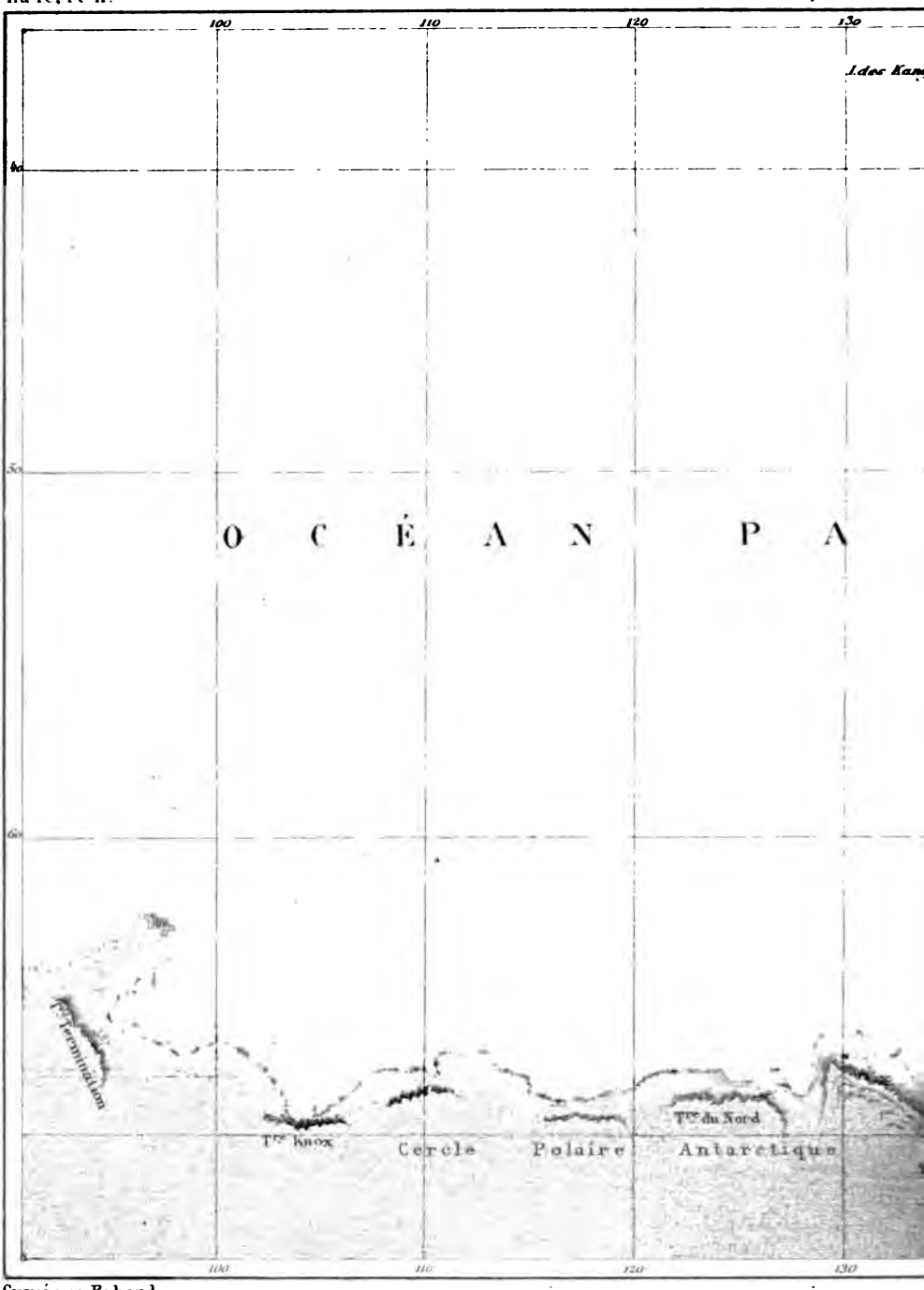
kilomètre, et toujours sous le vent, car de l'autre côté ils seraient exposés à dériver sur le terrible écueil, vers lequel se porte en outre un assez fort courant qui va remplacer les couches supérieures, devenues plus froides par le contact des montagnes flottantes. Environnés de brouillards à cause du contraste de leur température avec celle des eaux tièdes venues du midi, les débris gigantesques du glacier ne se révèlent aux marins que par d'étranges reflets blanchâtres et souvent par le froid intense de l'atmosphère environnante; mais parfois, quand on vient de reconnaître cet indice du péril, il est déjà trop tard pour éviter le choc. Des centaines de navires abordés par les glaces ont ainsi disparu avec leurs équipages dans les froides eaux de l'Océan. D'autres fois, même par un temps clair, on rencontre tout un archipel de glaçons, et pour en sortir, il faut louvoyer avec la plus grande précaution pendant des journées entières. C'est ainsi qu'en 1821 le brick anglais *Anne,* surpris par les glaces au large du cap Race, ne put entrer dans une mer libre qu'après être resté pendant vingt-neuf jours environné de tours et d'aiguilles menaçantes. Heureusement ces débris de glaciers diminuent bien vite en nombre et en hauteur dès qu'ils sont entrés dans la zone du Gulf-stream; rongés à la base par les eaux tièdes du courant, ils chavirent, se brisent, se désagrégent complétement, et vers le 40e degré de latitude, il est rare qu'on en retrouve encore quelques glaçons. Cependant en juin 1842, le navire *Formosa* rencontra par 37° 30′ de latitude une montagne flottante de 30 mètres de haut se dirigeant vers le sud[1].

Dans l'hémisphère antarctique ont lieu des phénomènes exactement semblables. Ainsi que l'ont prouvé d'innombrables observations, dont plus de 860 ont été régulièrement cataloguées par Fitz-Roy et d'autres géographes, les banquises et les débris de glaciers flottent des terres australes dans la direction de l'équateur. Il paraît seulement qu'en général les montagnes de glace de l'hémisphère antarctique offrent moins de variété dans leurs formes que celles de l'hémisphère

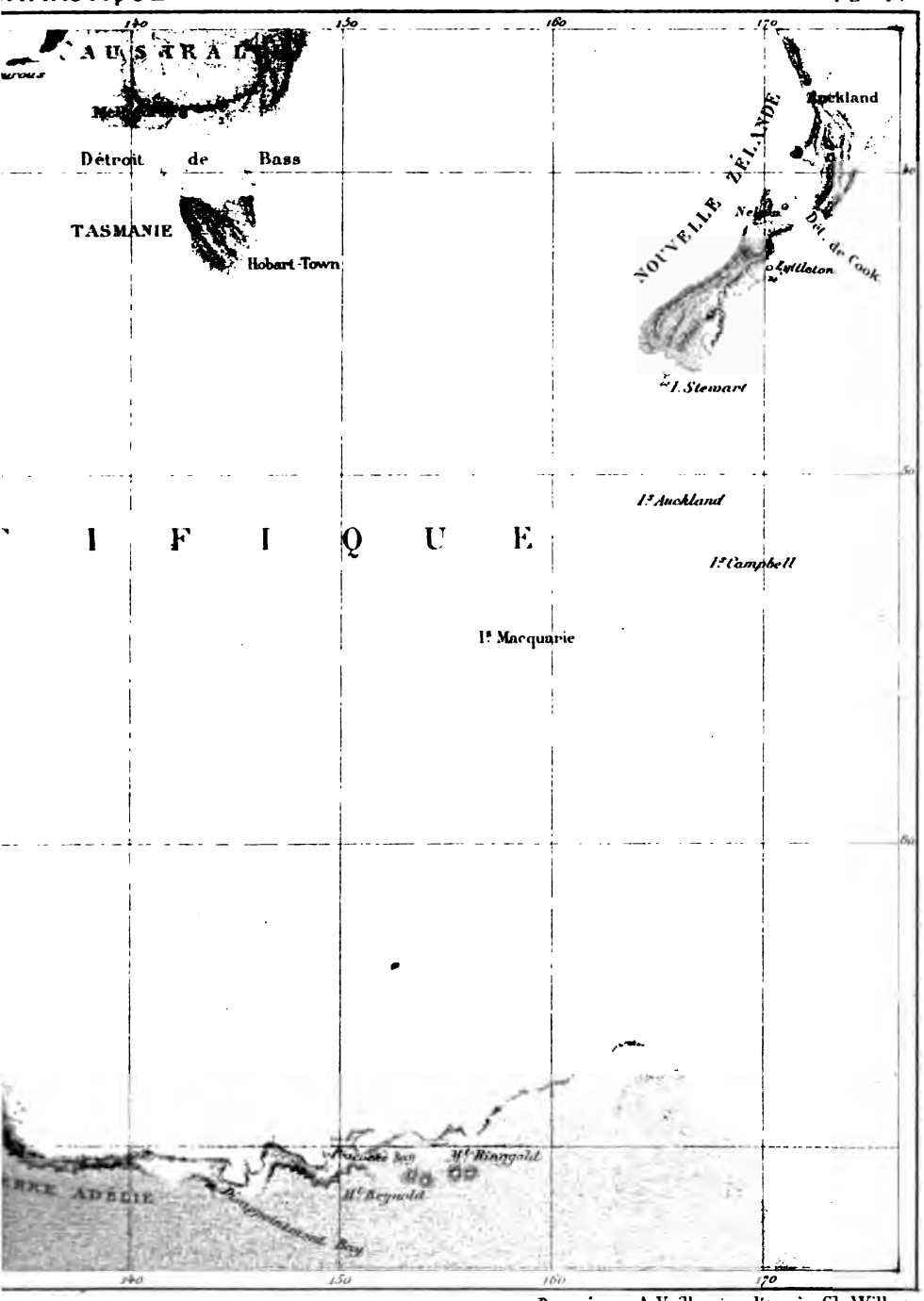
1. Redfield, *Memoir of the dangers and ice in the North Atlantic Ocean.*

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

BANQUISE A



Gravé par Erhard.



Dressé par A. Vuillemin, d'après Ch. Wilkes.

PUBLIC LIBRARY

opposé : ce ne sont pas des aiguilles et des dômes aux contours bizarres, mais plutôt des sortes de murs se dressant comme des falaises à 50 et 60 mètres d'élévation; du reste ces masses flottantes sont peut-être en moyenne de dimensions encore plus considérables que les fragments tombés des glaciers arctiques. Cette forme des montagnes flottantes des mers australes doit être sans doute attribuée à la rigueur du froid qui

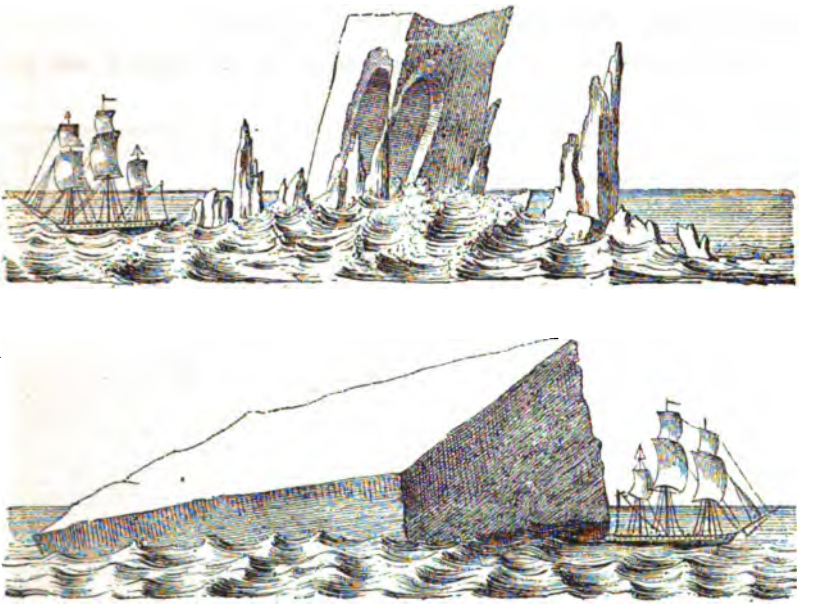
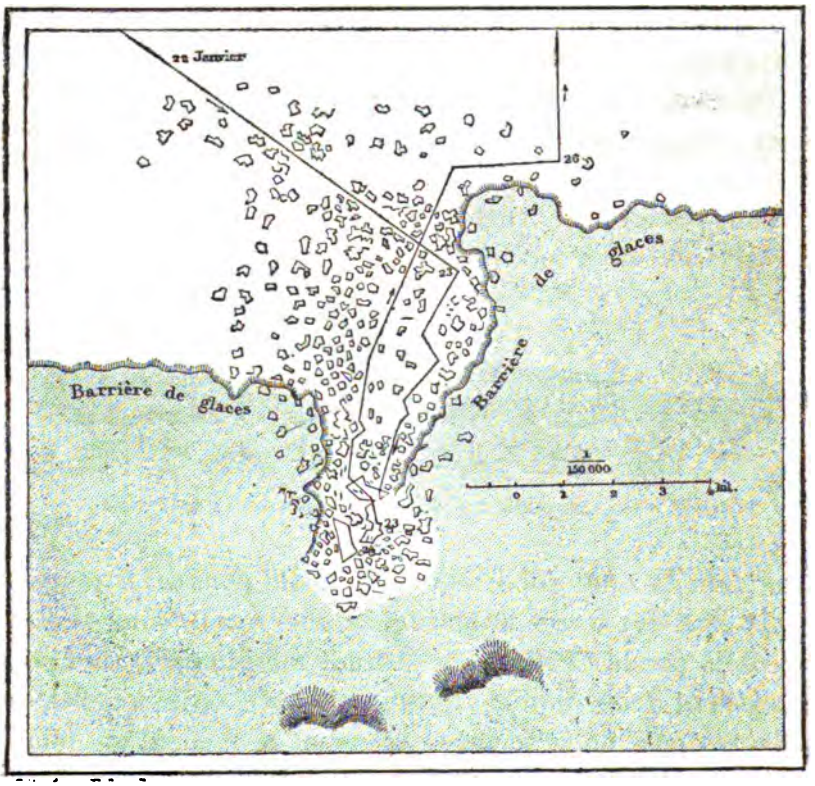


Fig. 15 et 16. — Montagnes de glace de l'océan Antarctique; d'après Wilkes.

règne dans la zone polaire du sud, et qui pousse les neiges et les glaciers des terres antarctiques plus avant dans la haute mer. Déjà par le 50e degré de latitude méridionale, les navires rencontrent des banquises d'une puissance égale à celles qui, de l'autre côté de la terre, se trouvent seulement au delà du cercle polaire. Dans l'hémisphère boréal, les fleuves du Groenland et du Spitzberg ne sont pas alimentés par une quantité de neiges assez grande pour qu'ils puissent sortir complétement des baies dans lesquelles ils débouchent et s'avancer jusque dans la grande mer; encore retenus dans leur cours par les falaises latérales, les promontoires et les îlots de rochers, ils prennent par suite de tous ces obstacles une forme beaucoup

plus irrégulière que s'ils pénétraient dans le libre Océan, comme les glaciers du pôle austral. Ceux-ci débordent au loin, en dehors des golfes, au delà des caps eux-mêmes, et seulement de distance en distance, ils s'appuient sur la solide ossature du continent. Au large de ce mur flottent d'innombrables îles, à travers lesquelles les navires peuvent difficilement trouver leur chemin : ainsi pendant le voyage d'exploration de Wilkes, le *Peacock* eut à louvoyer longtemps dans un dédale de blocs qui menaçaient de l'écraser.

La débâcle des glaces antarctiques s'accomplit au prin-



D'après Wilkes. Fig. 17. — Itinéraire du *Peacock* dans les glaces.

temps et en été, comme celle des glaces boréales, et par conséquent six mois plus tard, à cause de l'opposition des saisons dans les deux moitiés du monde. Les glaçons épars que l'on rencontre durant l'hiver ne sont que de simples fragments détachés des banquises. Les navires qui traversent ces parages

de l'Océan au sud des continents rencontrent en décembre, au fort de l'été, de trente à quarante fois plus de glaces qu'en juillet, époque la plus froide. Quant à la multitude des masses flottantes, elle n'est point la même dans toutes les mers antarctiques. Au sud de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, sur un espace égal au tiers de la circonférence terrestre, les montagnes de glace et les banquises sont relativement rares; au sud du cap Horn elles se rencontrent plus fréquemment, mais on n'en voit jamais entre cette pointe méridionale de l'Amérique et les îles Falkland; elles dévient toutes vers le nord-est, poussées par le grand courant polaire. C'est au sud du continent africain que les glaces se portent en plus grand nombre et se rapprochent le plus de l'équateur : on en a même aperçu de la ville du Cap, à 34 degrés de latitude. Ainsi les fragments des glaciers antarctiques sont charriés à 400 kilomètres plus avant que les glaces boréales dans la direction de la zone torride.

Dans les mers intérieures exposées à des froids rigoureux, la congélation de l'eau se produit de la même manière que

VOYAGES DES GLACES DANS L'HÉMISPHÈRE MÉRIDIONAL.

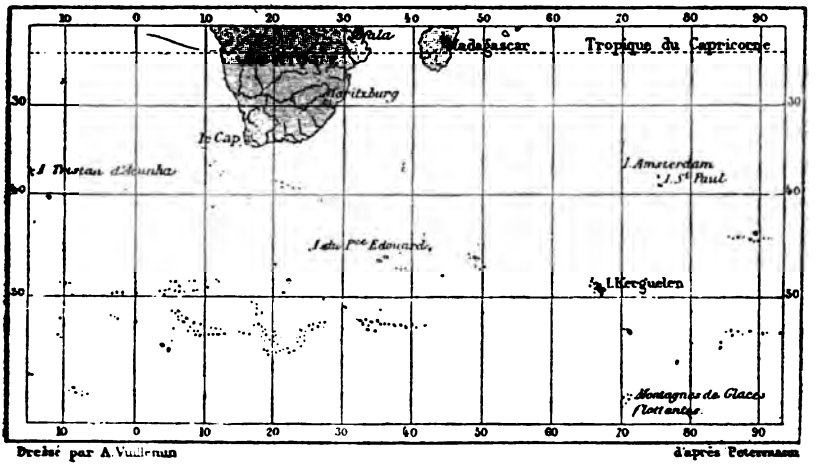


Fig. 18.

dans l'Océan: les phénomènes ne diffèrent que par la proportion. Ainsi les glaces de la Baltique sont loin d'offrir un spectacle aussi grandiose que les banquises des mers polaires; mais

le mode de formation en est connu d'une manière plus complète; car, pendant une longue série d'années, des observateurs consciencieux en ont étudié les diverses péripéties, depuis l'origine des premiers glaçons jusqu'à la débâcle.

Ces recherches ont prouvé qu'après avoir été formée, la couche glacée de la Baltique se comporte de la même manière que sur les lacs, non-seulement dans les parties septentrionales, où l'eau est presque douce, mais aussi près de l'entrée, là où la masse liquide est encore fortement saline. Les crevasses notamment n'y diffèrent en rien par leur formation de celles du lac Baikal[1] ou du lac de Constance. Elles s'ouvrent aussi avec un bruit de tonnerre en laissant échapper de grandes quantités d'eau qui se gèlent à leur tour et grossissent l'épaisseur de la couche solide. Autour de l'île d'Œsel, les fissures ont de 15 centimètres à 2 mètres de largeur, et se prolongent parfois à la distance de plusieurs kilomètres. Seulement le ressac produit par les courants et par la répercussion des vagues, qui se propagent à l'air libre dans les parties de la mer non glacée, donne aux crevasses les directions les plus diverses; en certains détroits elles sont parallèles, tandis qu'ailleurs elles se coupent sans ordre ou rayonnent vers tous les points de l'horizon.

Il est rare que la glace commence à recouvrir la surface de la mer tant que l'eau est agitée par une forte houle. La tempête et les courants rapides retardent ou même empêchent complétement la cristallisation. Ainsi, tandis qu'à l'est, où la mer est tranquille, l'île d'Œsel est réunie au continent, pendant 130 jours de l'année en moyenne, par une couche de glace atteignant parfois 1 mètre d'épaisseur et servant de grande route aux traîneaux, les falaises occidentales, que frappe la houle du large, sont bordées seulement d'une étroite banquise; même sur le promontoire de Muhha Ninna, où les vagues viennent se briser avec fureur, l'extrême agitation des eaux empêche pendant tout l'hiver l'apparition de la moindre parcelle de glace: les paysans de l'île disent n'en avoir jamais vu dans cet endroit[2].

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs*.
2. Von Sass, *Bulletin de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, t. IX, p. 166, etc.

Chaque année, une partie considérable de la Baltique se recouvre de glaces. Presque tout le golfe de Bothnie et le pourtour entier des côtes du golfe de Finlande se changent en une surface blanche et immobile; les îles et les îlots s'enveloppent d'une zone plus ou moins large de glaçons, et les détroits d'une faible profondeur sont graduellement obstrués. Tous les hivers, la Finlande est réunie à la Suède par un pont de glace, que percent çà et là les innombrables rochers de l'archipel d'Aland. La couche solide devient alors pour quelques mois la grande route entre la Suède et la Russie. Comme les banquises polaires, elle a des amas de glaçons redressés, pareils à des tourelles, à des pyramides, à des obélisques érigés sur la mer; comme les banquises, elle se détache des côtes pour descendre au sud avec le courant, puis se brise avec fracas, se réduit en glaçons épars, et quelques jours après le commencement de la fonte, il n'en reste plus que de minces débris jetés çà et là par les flots.

Il paraît que durant les siècles modernes la mer Baltique n'a jamais été recouverte en entier par un champ de glace. Les chroniques nous apprennent qu'en 1323 la partie méridionale du bassin gela complétement, et que pendant six semaines les voyageurs se rendaient à cheval de Copenhague à Lubeck et à Dantzig: on avait même élevé sur la glace des hameaux temporaires au croisement des routes. Durant les hivers de 1333, de 1349, de 1399 et de 1402, les mêmes phénomènes de congélation générale eurent lieu dans la Baltique méridionale, et la couche glacée servit de grand chemin pour les échanges entre la Poméranie, le Mecklenburg, le Danemark et ses îles. En 1408, le champ de glace fermait complétement l'entrée de la Baltique entre la Norvége et le Jutland, et s'étendait par le Cattegat, les détroits et la mer de Scanie jusqu'à la grande île de Gottland: on dit même que les loups de la Norvége, chassés de leurs forêts natales par la faim, traversèrent le Skagerrack pour envahir les villages du Jutland. Depuis cette époque, plusieurs parties de la Baltique méridionale se sont encore congelées; mais la surface solide n'a jamais offert la même étendue ni la même consistance. Ce fait semblerait prouver que la température moyenne s'est adoucie dans les contrées du nord de-

puis le XIVe siècle, tandis que le contraire devrait avoir eu lieu, d'après l'hypothèse d'Adhémar[1].

Chose remarquable! pendant quelques années exceptionnelles, la mer Noire, librement ouverte à tous les vents qui descendent des régions polaires, est envahie par les glaces comme la Baltique elle-même. Durant les siècles historiques, le détroit de Constantinople et la nappe avoisinante du Pont-Euxin ont été fréquemment recouverts de glace, ce qui prouve que, pendant la période de congélation, la température de cette partie de l'Orient était analogue à celle de Copenhague. En 401 de l'ère actuelle, la mer Noire gela presque entièrement, et, lors de la débâcle, on vit d'énormes montagnes de glace flotter pendant trente jours sur la mer de Marmara. En 762, la couche solide qui recouvrait le Pont-Euxin s'étendait d'une rive à l'autre, des falaises terminales du Caucase aux sources du Dniestr, du Dniepr et du Danube. En outre, disent les écrits du temps, la quantité de neige qui tomba sur la glace s'éleva jusqu'à la hauteur de 20 coudées (9 mètres ou 13 mètres[?],) et cacha complétement les contours du rivage : on ne savait où commençait le continent, où finissait la mer. Au mois de février, les débris de la couche de glace, emportés par le courant jusqu'à l'entrée de la mer Égée, se réunirent en une immense dalle entre Sestos et Abydos, au travers de l'Hellespont[2].

VI.

Vagues de la mer. — Ondes régulières et irrégulières. — Hauteur des vagues. — Leur amplitude et leur vitesse. — Lames de fond. — Vagues de côtes.

La surface marine est rarement calme. Durant les jours où l'atmosphère est sans mouvement, ce qui d'ailleurs est d'ordinaire un pronostic de tempête, l'eau est quelquefois

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Harmonies et les Contrastes*.

2. P. de Tchihatcheff, *le Bosphore et Constantinople*.

presque unie en apparence ; tous les objets s'y reflètent avec une parfaite netteté de contours ; les seuls changements qui paraissent s'opérer sur l'immense nappe immobile sont ceux du mirage, qui fait resplendir l'horizon lointain comme une longue bande d'argent ou d'acier : les pêcheurs disent alors que « la mer se regarde. » Mais cette tranquillité de l'eau est un phénomène peu commun, si ce n'est dans la Méditerranée et les autres mers à faible marée. D'ordinaire les vents, brises ou tempêtes, tantôt secondant, tantôt contrariant le flux ou le reflux, soulèvent l'eau marine en vagues plus ou moins hautes, qui parfois se déroulent régulièrement et souvent aussi se heurtent et se croisent. Même pendant les calmes, les flots, obéissant encore à l'impulsion des vents antérieurs, continuent de se développer à travers l'Océan en longues ondulations. C'est un des spectacles les plus grandioses que ces plissements de l'onde par un temps parfaitement paisible, alors que pas un souffle n'agite les voiles : hautes, bleues et sans écume, les masses liquides se succèdent à 200 ou 300 mètres d'intervalle, passent en silence sous le navire, et, pourchassées par d'autres ondes, vont se perdre au loin dans l'espace indistinct. On contemple avec admiration et même avec une sorte de terreur le flot majestueux et tranquille, rempart mouvant qui semble devoir tout engloutir sur son passage, et qui dérange à peine le moindre fétu. Ces vagues présentent surtout une étonnante régularité sous le tropique du Cancer, pendant les calmes d'automne, et presque en toute saison dans la partie de la mer des Antilles qui se rétrécit vers le golfe de Darien : là, les gonflements de l'onde que l'on voit s'avancer, puis soulever le navire et s'éloigner en murmurant à peine, sont aussi droits que les ados d'un champ, et se prolongent jusqu'à perte de vue d'un horizon à l'autre.

Ces ondes si parfaitement régulières ne peuvent se former que dans les mers parcourues de vents au souffle toujours égal, comme celui des alizés ; partout où les courants atmosphériques avancent par bouffées ou bien sont tantôt retardés, tantôt accélérés dans leur marche, il est évident que les vagues poussées par eux ne peuvent se dresser toutes à la même

élévation. D'ailleurs un courant aérien n'est point animé de la même vitesse dans toute sa largeur; on peut le considérer comme étant composé de tranches de puissance inégale, qui se meuvent d'un élan différent à surface des mers, et qui tour à tour augmentent ou diminuent en force. Sous l'action de ces masses atmosphériques, à l'impulsion variable, les rides de l'eau doivent nécessairement varier en hauteur et en vitesse, et leurs crêtes ne peuvent se développer en une longue ligne uniforme. En outre, le vent change fréquemment de direction; sollicité par quelque nouveau foyer d'appel [1], il commence à souffler d'un autre point de l'espace, et pousse les vagues dans une direction différente de celle qu'il leur avait lui-même imprimée. Toutefois le mouvement premier dure encore pour les flots qui se pourchassent lorsque le second se fait sentir, et de cette double impulsion résulte un entrecroisement de vagues, distinctes les unes des autres par la direction, la hauteur et la vitesse. Que le vent saute à un autre point de l'espace, et une troisième ondulation va se croiser avec les précédentes; enfin, que le courant aérien fasse successivement le tour de l'horizon, et les plissements de l'eau vont se traverser dans tous les sens, accourant à la fois de toutes les parties du cercle immense; aucun souffle ne s'est perdu sur le niveau mobile, et la variété des ondulations témoigne de la diversité non moins grande des mouvements aériens qui leur ont donné naissance.

Du haut d'un promontoire ou d'un mât de navire, d'où l'on voit se dérouler une vaste étendue liquide, on peut souvent jouir de ce beau spectacle de deux ou trois systèmes de rides qui se croisent sous des angles divers, et qui tantôt doublent la hauteur normale des ondulations en dressant deux vagues l'une sur l'autre, tantôt égalisent la surface de l'eau en jetant de larges flots dans les sillons. Quelquefois la mer est si agitée que, dans la masse bouillonnante, on ne saurait discerner l'action de tous les vents qui se sont succédé. Quant aux passagers, que le navire ballotté des vagues secoue inces-

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *l'Air et les Vents*.

samment par son roulis, son tangage, ses plongements soudains et ses écarts, il leur est bien plus difficile encore de reconnaître, dans l'entre-croisement des flots, les diverses impulsions de l'atmosphère. La figure suivante reproduit,

Avant.

Arrière.

Fig. 19. — Oscillations d'un navire sur les vagues.

d'après Ewbank, les courbes dessinées pendant une seule minute par un crayon suspendu verticalement dans la cabine d'un navire. Au moment où le crayon traçait ces lignes, le vent était faible et le mouvement des eaux très-modéré.

La hauteur des vagues n'est point la même dans toutes les mers; elle est d'autant plus considérable que le bassin est plus profond, que la surface est plus librement parcourue des vents, et que l'eau, moins salée, et par conséquent moins pesante, donne plus de prise aux courants atmosphériques. Ainsi, à égalité de superficie, les eaux du lac Supérieur sont soulevées en vagues plus hautes que celles d'un golfe de l'Océan barré du côté du large par des îles et des bancs de sable. A égalité de salure, ce sont les bassins les plus étroits qui doivent présenter les vagues les plus courtes et les moins hautes. Les flots de la Caspienne ne sont point comparables à

1 *Life in Brazil*, p. 48.

ceux de la Méditerranée, qui, de leur côté, sont de beaucoup dépassés en élévation par ceux de l'Atlantique du nord, et ceux-ci, à leur tour, n'atteignent point à la hauteur des vagues de la mer Antarctique, étalée sur tout un hémisphère.

D'après l'amiral Smyth, qui connaissait si bien la Méditerranée, les vagues de tempête y ont de 4 à 5 mètres et jusqu'à 5 mètres 1/2 de hauteur verticale au-dessus du creux de l'eau; il a même vu des ondes tout à fait exceptionnelles se dresser à 9 mètres de hauteur; mais les vagues moyennes soulevées par les grands vents ont seulement de 3 à 4 mètres [1]. Dans une traversée que le célèbre marin Scoresby fit en 1847 de Liverpool à Boston, il mesura des vagues de 8 à 9 mètres, et la moyenne de toutes ses observations donna pour les grandes ondes la hauteur de 5^{m},80. A son retour, en 1848, il trouva une moyenne de 9^{m},14 pour les vagues mesurées, et quelques-unes d'entre elles s'élevèrent à 13^{m},10 au-dessus de l'intervalle le plus profond. D'autres navigateurs donnent des évaluations analogues pour les plus hautes crêtes des flots dans l'Atlantique du nord; quant à la moyenne d'élévation, elle est beaucoup moins considérable. On peut en juger par la figure suivante, qu'a tracée l'ingénieur Middlemiss pour représenter

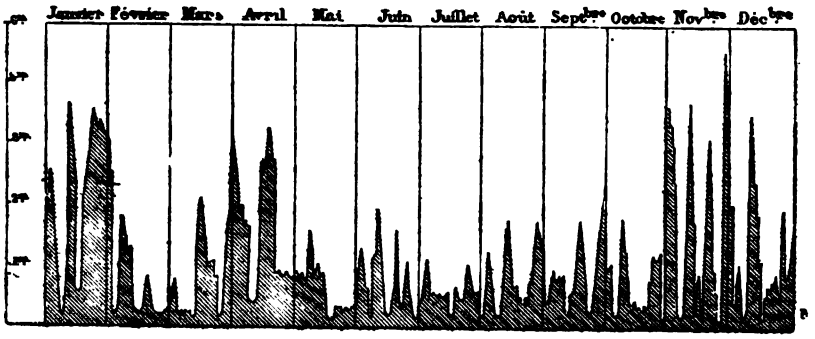


Fig. 20. — Hauteurs moyennes des vagues observées à Lybster (Écosse) en 1852.

les variations annuelles de la vague à Lybster, sur les côtes d'Écosse.

1. Cialdi, *Sul moto ondoso del mare*, p. 142

Dans l'Atlantique du sud, les hauteurs des ondes sont certainement plus fortes que dans les parages du nord. Un grand nombre de marins ont vu l'eau se relever à 15, 16 et 18 mètres au large du cap de Bonne-Espérance, là où l'Atlantique et l'océan des Indes confondent leurs bassins. Dumont-d'Urville affirme même avoir rencontré des vagues de 33 mètres de hauteur, au fond desquelles le navire descendait comme dans une vallée, et M. Fleuriot de Langle atteste la vérité de cette assertion. Ce sont bien là les montagnes dont parlent les poëtes, et qui semblent telles en effet à ceux qui se trouvent à leur merci. D'ailleurs, il est probable que les plus hautes vagues n'ont point encore été mesurées. Chose remarquable, ce n'est point d'ordinaire pendant les tempêtes les plus violentes que se forment les grandes lames. Alors, au contraire, les masses aériennes, se précipitant obliquement sur les vagues, les dépriment et les écrasent pour ainsi dire [1]. Les ondes se développent dans toute leur majesté quand le vent est à la fois très-fort et très-régulier, et qu'il souffle pendant longtemps du même point de l'horizon.

Quant à l'amplitude des vagues, c'est-à-dire à leur largeur totale de base à base, les divers observateurs n'ont point obtenu les mêmes résultats; mais parmi eux il en est peu qui aient trouvé pour la crête du flot une hauteur verticale supérieure au quarantième de la largeur ou inférieure au douzième; en moyenne le plissement de l'eau ne présente en hauteur que le quinzième de sa base; une vague de 1 mètre a 15 mètres de

Fig. 21. — Amplitude moyenne des vagues.

vallée à vallée, une vague de 10 mètres a 150 mètres d'amplitude. D'après M. Paris [2], la hauteur de la vague ne serait ordinairement que d'un vingt-cinquième de la base, soit un

1. Cialdi, *Sul moto ondoso del mare*, p. 139.
2. *Annales hydrographiques*, n° 460, 1869.

dix-huitième dans les grands vents, et seulement un trente-cinquième dans les brises molles. C'est là une proportion bien plus faible que ne le croirait le marin perdu au milieu des lames qu'il voit se dresser de toutes parts. D'ailleurs, l'inclinaison des eaux soulevées varie avec la force du vent et les mouvements des ondes secondaires qui croisent les rides principales.

La vitesse des vagues n'est qu'une vitesse apparente, comme celle des plis d'une étoffe soulevée par un courant d'air ; si l'eau comprimée par le vent se redresse et s'affaisse tour à tour, néanmoins elle ne change guère de place, et les objets qui s'y trouvent ne se meuvent qu'avec lenteur dans le sens de l'ondulation. Le mouvement réel de l'eau est celui du courant de dérive qui se forme peu à peu sous l'action prolongée du vent ; mais ce mouvement général de la masse liquide est peu considérable. La seule fraction de l'onde qui marche avec la tempête est la crête écumeuse qui surplombe le sommet du pli et qui s'écroule sur la pente avancée. Par leur frottement incessant, ces parties supérieures des vagues s'accroissent graduellement en chaleur, ainsi qu'on a pu le remarquer après grand nombre de fortes tempêtes [1].

Le déplacement apparent des ondes, qu'il est du reste assez difficile de mesurer exactement en pleine mer, varie d'une manière régulière suivant la largeur du flot qui se déroule et la profondeur du bassin maritime. Ainsi, d'après les calculs de Whewell, d'Airy et autres mathématiciens, toute vague de 30 mètres d'amplitude, parcourant une mer profonde de 300 mètres en moyenne, a la vélocité de $6^m,80$ par seconde ou de 24,980 mètres par heure; une vague de 300 mètres, se déplaçant sur des couches d'eau ayant 3,000 mètres de profondeur, se meut de $21^m,85$ par seconde, soit de 78,660 mètres par heure : c'est ce dernier chiffre que l'on peut considérer comme la moyenne de vitesse pour les flots de tempête dans les grandes mers. Puisque l'on peut ainsi, par le calcul, déduire la vélocité des vagues de leur amplitude et de la profondeur

1. Joule; — Cialdi, *Sul moto ondoso del mare*, p. 218.

connue du lit de l'Océan, il est facile de déterminer par une opération inverse quelle est l'épaisseur de la couche d'eau, pourvu que l'on connaisse la marche des ondes à la surface liquide. C'est par cette méthode qu'on a calculé la profondeur moyenne de l'Atlantique méridional et celle du Pacifique, entre le Japon et la Californie, l'Australie et la côte du Pérou [1].

Les physiciens ont beaucoup agité la question du mouvement des vagues dans le sens vertical. A quelle profondeur, dans les abîmes de la mer, pénètre l'action de l'onde superficielle? à combien de mètres peut-elle remuer le sable et les débris des bas-fonds? On admettait autrefois comme un fait certain, mais sans le prouver, que l'agitation cesse de se faire sentir à 8 ou 10 mètres au-dessous de la surface. Les observations faites directement par les marins en un grand nombre de parages ont montré que cette opinion est erronée. Fréquemment les navigateurs ont vu les vagues se briser au-dessus d'écueils cachés à 20, 30 et même 50 mètres de profondeur, et, dans ce cas, les roches invisibles étaient réellement un obstacle à la propagation du flot, puisqu'elles barraient brusquement la marche à la partie sous-marine de l'onde. Bien plus souvent encore, on a vu, pendant les violentes tempêtes, ou même lorsque le vent s'était déjà calmé, l'eau chargée de l'argile ou de la vase soulevée des bas-fonds, à 100, 150 et 200 mètres au-dessous du niveau marin [2]. Enfin les expériences directes de Weber sur les mouvements des ondes ont prouvé que chaque vague propage son action dans le sens vertical jusqu'à trois cent cinquante fois sa hauteur. Ainsi tout flot de 30 centimètres seulement remue le lit de la mer du Nord, profonde d'environ 100 mètres; toute lame océanique de 10 mètres se fait sentir à 3 kilomètres et demi. Il est vrai qu'à ces profondeurs énormes, l'action du flot est pour ainsi dire idéale : car au-dessous de la surface elle décroît en proportion géométrique; mais à 50 ou 100 mètres, les vagues sous-marines conservent encore une grande force, et l'on

1. Voir ci-dessus, p. 19.
2. Cialdi, *Sul moto ondoso ael mare*, p. 174.

comprend que, lorsque des milliers et des millions d'entre elles sont arrêtées brusquement dans les anfractuosités des roches et sur les versants rapides des hauts-fonds, il doit se produire de violents remous qui reparaissent ensuite en « lames sourdes » à la surface. De là ces mers houleuses que les navires rencontrent parfois par un temps calme, et surtout dans le voisinage des bancs sous-marins; de là ces « lames de fond » qui, tout à fait inattendues, gonflent en un moment la nappe des eaux et mettent les bâtiments en danger; de là ces ras de marée formidables qui jaillissent des profondeurs de l'Océan et remontent soudainement la pente des rivages en détruisant tout ce qu'ils rencontrent sur leur chemin.

C'est au bord des îles et des continents et sur le pourtour des écueils que vagues ordinaires et lames sourdes apparaissent dans toute leur grandeur et se dressent vraiment terribles. Par suite de l'inclinaison plus ou moins graduelle du fond vers le rivage, l'onde venue de la haute mer se déroule au-dessus d'un lit de plus en plus rapproché de la surface et doit forcément se ralentir; mais, en même temps, elle augmente de sa propre épaisseur la couche d'eau qu'elle recouvre, et par conséquent l'onde qui la suit subit un moindre ralentissement dans sa force d'impulsion. La deuxième vague gagne peu à peu sur la première, elle finit par l'atteindre, en gonfle la crête, et, se ralentissant à son tour, donne parfois à une troisième vague le temps de la distancer aussi. Enfin, dans le voisinage de la grève, la masse liquide, grossie des flots qui la poursuivaient, ne peut plus développer sa base sur le fond trop rapproché; elle prend en hauteur tout ce qui lui manque en amplitude, se redresse comme un mur, replie en avant sa large volute, et s'écroule avec fracas en projetant au loin sur le rivage l'eau mêlée au sable et à l'écume. Ces lames, effrayantes pendant les tempêtes, s'élèvent bien plus haut que les ondes du large : pour les anciens, les flots blanchissants de la haute mer, dont ils voyaient briller les crêtes comme des toisons de brebis, étaient les troupeaux de Protée, tandis que les vagues du bord, encore appelées de nos jours

cavalli et *cavalloni* par les peuples du midi de l'Europe, étaient les chevaux frémissants de Neptune.

La hauteur à laquelle peuvent atteindre les jets de ces vagues, lorsque la configuration du fond et des écueils favorise le mouvement, semble parfois tenir du prodige : la masse d'eau qui s'élance alors verticalement ne peut être comparée qu'à une cataracte remontante. Spallanzani raconte que, dans les violentes tempêtes de la mer Tyrrhénienne, les lames atteignent à la moitié et même à la cime de Stromboluzzo, aiguille de lave qui s'élève près de Stromboli à 97 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer. Le phare de Bell-Rock, hardiment dressé sur un écueil du littoral d'Écosse, est souvent enseveli dans l'écume et la vague, même lorsque les tempêtes ont cessé de bouleverser la mer[1]. Enfin Smeaton a vu des lames recouvrir le phare d'Eddystone et s'élancer encore en une trombe d'eau jusqu'à 25 mètres au-dessus du fanal; la masse qui se soulève ainsi autour de l'édifice ne peut être moindre de 2,000 à 3,000 mètres cubes, et pèse autant qu'un navire à trois ponts. Après les grands assauts de la mer, des flaques salées sont éparses au sommet de toutes les falaises.

Quant à la pression exercée par de telles masses lancées avec une grande force d'impulsion, elle n'est pas moins étonnante. Thomas Stephenson a trouvé que la puissance de l'eau projetée contre le phare de Bell-Rock s'élevait à 17 tonnes par mètre carré ; dans l'île de Skerryvore, la plus forte pression calculée est de 30 tonnes et demie par mètre, soit plus de 3 kilogrammes par centimètre carré. Avec une pareille force, le déplacement de blocs qui nous semblent énormes n'est qu'un jeu pour les vagues de tempête. Devant les ports de mer et les rades où l'on a fait de grands travaux, tels que digues et brise-lames, les marins ont pu remarquer la puissance prodigieuse de l'onde irritée. Sur tous ces ouvrages avancés, à Holyhead, à Kingston, à Portland, à Cherbourg, à Port-Vendres, à Livourne, on a vu des vagues saisir des matériaux

1. Mary Somerville, *Physical Geography*.

du poids de plusieurs tonnes et les lancer comme des jouets par-dessus les digues ; à Cherbourg, les plus lourds canons de rempart ont été déplacés ; à Barra-Head, dans les Hébrides, Thomas Stephenson a constaté qu'un bloc de pierre de 43 tonnes avait été poussé de plus de 15 décimètres par la houle ; à

RADE DE SAINT-JEAN-DE-LUZ.

Fig. 22.

Plymouth, un bâtiment de 200 tonnes fut jeté, sans se rompre, au sommet même de la digue, et resta dressé sur cet écueil où venait s'arrêter la fureur des vagues du large. A Dunkerque, ainsi que M. Villarceau l'a constaté par les mesures les plus

délicates, le sol tremble à 1,500 mètres du rivage lorsque la mer gronde avec force. C'est même à ce heurt continuel des lames qu'est due probablement en grande partie la stratification des terrains meubles avoisinant le littoral. A San Francisco de Californie, des débris de dunes ayant été jetés et mêlés confusément avec de l'argile et d'autres matériaux pour remblayer une dépression voisine de la cité, tous ces fragments, secoués, soit par les tremblements de terre, soit plutôt par la vibration des flots lointains, se sont graduellement tassés et stratifiés. Une coupe faite récemment à travers ces débris montra que la masse confuse s'était transformée en un terrain géologique [1].

Dans le golfe de Gascogne, si fréquemment visité par les tempêtes, les lames venues de l'ouest et du nord-ouest s'engouffrent comme dans une sorte d'entonnoir, et se heurtent contre les rivages avec une violence au moins égale à celle des vagues de la Manche et des mers anglaises. Aussi les ouvrages construits par les ingénieurs pour défendre les rades et les ports contre cette terrible pression ont-ils été maintes fois emportés ou du moins fortement endommagés par les flots ; sous peine de voir disparaître en un jour toute l'œuvre d'un siècle, l'homme doit continuer sans cesse contre la mer la lutte engagée. Pendant l'hiver de 1867 à 1868, dit M. Palaà, des blocs de rochers artificiels du poids de 36 tonnes, placés à l'extrémité de la digue de Biarritz, ont été projetés horizontalement à 10 et 12 mètres ; même un bloc a été soulevé en plein de 2 mètres, porté sur le brise-lames, puis renversé et roulé au loin dans la tourmente. A Saint-Jean-de-Luz, les lames sont peut-être encore plus redoutables ; aussi quelques-unes des masses de pierre que l'on emploie pour construire la digue de Socoa, à l'entrée de la rade, n'ont-elles pas moins de 60 et 70 mètres cubes. Et pourtant la puissante muraille ne serait pas encore assez puissante, si elle n'était en outre défendue par des pierres jetées au hasard, constituant, en avant de la digue, une rangée d'écueils protecteurs.

1. George P. Marsh, *L'Uomo e la Natura.*

Les seuls parages où les vagues déploient une force encore plus grande que dans le golfe de Gascogne sont ceux que ravagent parfois les ouragans. A l'île de la Réunion, on trouve, au milieu d'une savane, un bloc massif de pierre madréporique qui n'a pas moins de 390 mètres cubes : c'est une épave que les lames ont détachée du récif et poussée devant eux à travers la campagne [1]. Comment s'étonner que des flots assez puissants pour lancer de pareils projectiles modifient si diversement les rivages, ici démolissant les falaises, ailleurs déposant des îles ou construisant des flèches de sable à l'entrée des estuaires [2] ?

1. Zurcher et Margollé.

2. Voir, ci-dessous, les chapitres intitulés *les Rivages et les Iles, le Travail de l'homme.*

CHAPITRE II

LES COURANTS.

I.

Grands mouvements des eaux marines. — Causes générales des courants. Les cinq fleuves océaniques.

Les mouvements réels de la mer, qui se montrent par les courants et qui sont beaucoup moins visibles aux regards que les déplacements apparents produits par les vagues, ont néanmoins une bien plus haute importance dans la vie planétaire : par eux, d'énormes couches liquides, ayant jusqu'à des milliers de kilomètres en largeur et des centaines de mètres en profondeur, sont entraînées à travers les bassins océaniques; les eaux des mers polaires s'épanchent vers les régions équatoriales, et, de leur côté, celles-ci envoient leurs flots dans la direction des pôles. La masse liquide tournoie incessamment, comme par un remous, dans chaque mer du globe, et l'on peut en suivre par la pensée la ronde prodigieuse, des banquises de glace jusque sous la tiède atmosphère des tropiques. Les courants ne sont autre chose que l'Océan lui-même en mouvement, et par eux les eaux marines sont successivement réparties dans tous les parages de la sphère : ce sont les méandres de ce grand « fleuve salé » d'Homère, qui se déroule autour de la terre en un immense circuit. Chaque gouttelette qui n'a pas encore été aspirée en vapeur, pour commencer son long voyage à travers les nuées, les névés, les glaciers et les fleuves, change continuellement de place dans les abîmes de la mer ; elle descend jusqu'au fond ou remonte à la surface, elle se

promène de l'équateur au pôle ou du pôle à l'équateur, et parcourt ainsi toutes les régions de l'Océan. C'est à ce déplacement continu de ses innombrables molécules que la mer doit de se ressembler d'une manière si étonnante sous les diverses latitudes par l'aspect, la composition, la salure des eaux.

Toute différence de niveau qui se produit à la surface liquide par suite de vents prolongés, de fortes pluies ou d'une évaporation très-active, a pour conséquence nécessaire la formation d'un courant; car l'eau cherche l'horizontalité de surface et se porte sans cesse des endroits les plus élevés vers les dépressions. La moindre variation atmosphérique a donc pour conséquence un déplacement dans un sens ou dans l'autre des eaux superficielles; mais les courants qui d'un mouvement régulier se déroulent autour des bassins de l'Océan entre les zones polaires et la zone équatoriale sont déterminés par des causes générales agissant à la fois sur la face entière de la planète. Ces causes sont la rotation du globe et la différence de température entre les diverses parties de la mer.

Le bassin équatorial, incessamment réchauffé par les rayons solaires, perd une très-grande quantité d'eau qui se transforme en vapeur et monte dans les hautes couches de l'air pour se condenser en nuages. En admettant que l'évaporation annuelle soit de 4 mètres 1/2 seulement[1], ce qui est sans doute un chiffre inférieur à la réalité, la quantité de liquide enlevée à l'Atlantique dans la zone tropicale serait approximativement de 120 trillions de mètres cubes et représenterait par conséquent une masse cubique d'eau de près de 50 kilomètres de côté. Il est vrai qu'une partie considérable de ces vapeurs, la moitié peut-être, retombe avec les pluies dans la mer d'où elle s'est élevée; mais une très-forte proportion des nuages est entraînée par les contre-alizés[2] et d'autres courants aériens dans les mers situées en dehors des tropiques et sur les continents voisins. Près de l'équateur, l'évaporation enlève donc à l'Océan beaucoup plus d'eau que

1. Maury, *Geography of the Sea.*
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *l'Air et les Vents.*

ne lui en rendent les nuages du ciel, et par suite il se forme un vide immense que peuvent seules remplir les masses liquides venues des bassins polaires, où l'apport des neiges, des pluies et des glaces dépasse la perte en vapeur. Ces masses liquides surabondantes se précipitent en effet vers le bassin de la zone torride, et forment les deux grands courants qui des pôles opposés du globe vont à l'encontre l'un de l'autre dans l'Atlantique et le Pacifique, et marchent sans cesse en décrivant un orbe régulier comme celui des corps célestes. D'ailleurs l'excès d'évaporation qui se produit dans les eaux tropicales n'est point la seule cause de ce grand mouvement des mers polaires vers la zone torride. Les eaux froides de la zone polaire sont plus denses que les eaux tièdes de la zone équatoriale dans la proportion d'environ 5 millièmes, et, par suite de l'inégalité du poids spécifique, le courant d'eau plus lourde doit s'écouler vers le sud, tandis que le contre-courant plus léger doit se diriger vers le nord [1]. En outre, les vents alizés, entraînés par le puissant foyer d'appel des chaleurs équatoriales, soufflent incessamment dans cette direction, et, poussant toujours les vagues devant eux, accélèrent la marche du courant océanique.

Quand les eaux qui affluent du nord et du sud arrivent dans les parages des tropiques, elles sont reprises par un nouveau courant, dont la véritable cause est le mouvement de rotation qui emporte la terre autour de son axe. En effet, grâce à la fluidité de leurs molécules, les couches liquides n'obéissent point d'une manière absolue au mouvement de projection de la planète qui les entraîne de l'ouest à l'est; en descendant des pôles à l'équateur, et en traversant ainsi des latitudes dont la vitesse autour de l'axe du globe est plus forte que la leur, elles obliquent constamment à l'ouest, et ce retard continuel sur la marche de rotation devient, relativement aux rivages immobiles de la mer, un mouvement apparent de l'orient à l'occident. En se rencontrant sous la zone tropicale, les courants polaires, qui obéissent tous les deux à la dérive, se

1. Mühry, *Ueber die Lehre von den Meeresströmungen*, p. 10.

frappent obliquement, puis se réunissent en un même fleuve océanique et se portent directement vers l'ouest, en sens inverse du mouvement du globe. Il est probable aussi, comme l'affirmait déjà Kepler, et comme le répétait Kant, que la simple force centrifuge suffirait à faire mouvoir dans le sens de l'est à l'ouest les eaux de la zone équatoriale. Telle est la raison qui a fait donner à ce courant le nom de « courant de rotation, » tandis que les deux autres, attirés des pôles, sont des « courants thermaux [1]. » Ce sont ces courants primaires qui déterminent tout le mouvement des eaux dans chaque bassin océanique. Les autres fleuves de la mer n'en sont que de simples dérivations, causées par la forme des continents.

Le courant équatorial, qui continue les courants polaires et forme avec chacun d'eux une vaste demi-circonférence, ne peut pas se développer librement sur toute la rondeur du globe. Arrêté dans l'Atlantique par le continent américain, dans le Pacifique par l'Asie et les archipels qui relient ce continent à la Nouvelle-Hollande, il se brise contre les rivages et se partage en deux moitiés, qui se replient dans la direction des pôles, l'une en descendant vers le sud, l'autre en remontant vers le nord. L'immense fleuve reflue ainsi vers sa source; mais en même temps, le mouvement de rotation terrestre qui le faisait incessamment dévier vers l'ouest le fait maintenant obliquer dans la direction opposée. Sous l'équateur, la vitesse angulaire de la surface terrestre autour de l'axe de la planète étant plus considérable que sous les autres latitudes, les eaux qui affluent des mers tropicales dans les mers tempérées sont animées d'un mouvement plus rapide vers l'est que le milieu dans lequel elles se trouvent; elles dévient par conséquent dans le sens de l'orient, et quand le courant de retour atteint les mers polaires, il semble venir de l'ouest. Ainsi se complète le grand circuit des eaux dans chaque hémisphère. L'Atlantique et le Pacifique ont chacun leur double système circulatoire, formé de deux remous im-

1. Mühry, *Ueber die Lehre von den Meeresströmungen*, p. 4 et suiv.

menses unis dans la zone torride par un courant équatorial commun. Quant à l'Océan des Indes, limité du côté du nord par le continent d'Asie, il n'a qu'un courant simple tournant incessamment en son vaste bassin entre l'Australie et l'Afrique. Dans leur ensemble, ces fleuves océaniques rappellent par leur distribution celle des parties du monde. Les deux tourbillons de l'Atlantique correspondent aux deux continents d'Europe et d'Afrique; les vastes tournoiements du Pacifique ont une division binaire analogue à celle des deux Amériques, et le courant de la mer des Indes fait penser à l'énorme masse de l'Asie, qui remplit à elle seule une moitié de l'hémisphère septentrional.

II.

Le *Gulf-stream*. — Influence de ce courant sur les climats.
Son importance pour le commerce.

De tous les fleuves océaniques, le mieux connu est cette partie du courant de l'Atlantique boréal que les Anglais et les Américains ont appelé *Gulf-stream* ou courant du Golfe, parce qu'il se développe en un long circuit dans le golfe du Mexique avant d'atteindre l'Océan. En l'année 1513 déjà, les Espagnols Ponce de Leon et Antonio de Alaminos reconnurent l'existence de ce courant; six ans plus tard Alaminos, s'élançant hors du « débouquement » des Florides, se laissa pousser par les eaux dans la mer libre et découvrit ainsi la grande route circulaire qu'ont à suivre les navires pour revenir promptement en Europe. Depuis Varenius, qui tenta de décrire le Gulf-stream, Vossius, qui en traça sur la carte le circuit immense, Franklin et Blagden qui, les premiers, l'explorèrent scientifiquement, ce courant a été étudié par un grand nombre de géographes. D'ailleurs, aucune des masses d'eau qui se déplacent sur la mer ne mérite d'être mieux connue dans tous ses détails; aucune

n'a plus d'importance pour le commerce des nations et n'exerce une influence plus considérable sur les climats : c'est au Gulf-stream que les îles Britanniques, la France et les pays voisins doivent en grande partie leur douce température, leur richesse agricole et, par suite, une part très-notable de leur puissance matérielle et morale[1]. Son histoire se confond presque avec celle de l'Atlantique boréal, tant est capitale l'influence hydrologique de ce courant des mers[2].

Le célèbre Maury consacre au Gulf-stream la partie la plus importante de son ouvrage classique sur la *Géographie de la Mer*. « Il est un fleuve dans l'Océan : dans les plus grandes sécheresses, jamais il ne tarit; dans les plus grandes crues jamais il ne déborde. Ses rives et son lit sont des couches d'eau froide entre lesquelles coulent à flots pressés des eaux tièdes et bleues. Nulle part sur le globe il n'existe un courant aussi majestueux. Il est plus rapide que l'Amazone, plus impétueux que le Mississipi, et la masse de ces deux fleuves ne représente pas la millième partie du volume d'eau qu'il déplace. » Tel est le langage épique par lequel débute le beau livre de Maury.

Après avoir en six mois fait le tour de la mer des Caraïbes et du golfe du Mexique, après avoir rejeté sur le littoral de l'Alabama les eaux boueuses du Mississipi, qui longent ses vagues d'un bleu sombre, le Gulf-stream suit les côtes septentrionales de Cuba, puis contourne la pointe méridionale de la Floride, et pénètre dans le détroit qui sépare le continent américain des îles et des bancs de Bahama. Grossi de la masse d'eau que lui envoie directement le grand courant équatorial par les détroits de l'archipel, et surtout par le Vieux-Canal de Bahama, le Gulf-stream coule droit au nord et s'élance dans l'Océan par une embouchure de 59 kilomètres de largeur, et d'une épaisseur moyenne de 370 mètres. Là sa vitesse égale celle des principaux fleuves de la terre, puisqu'elle atteint parfois de 7 à 8 kilomètres par heure; mais d'ordinaire elle est d'environ 5 kilomètres et demi. La masse d'eau que débite

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et l'Homme*.
2. J. G. Kohl, *Geschichte des Golfstroms*, p. 1.

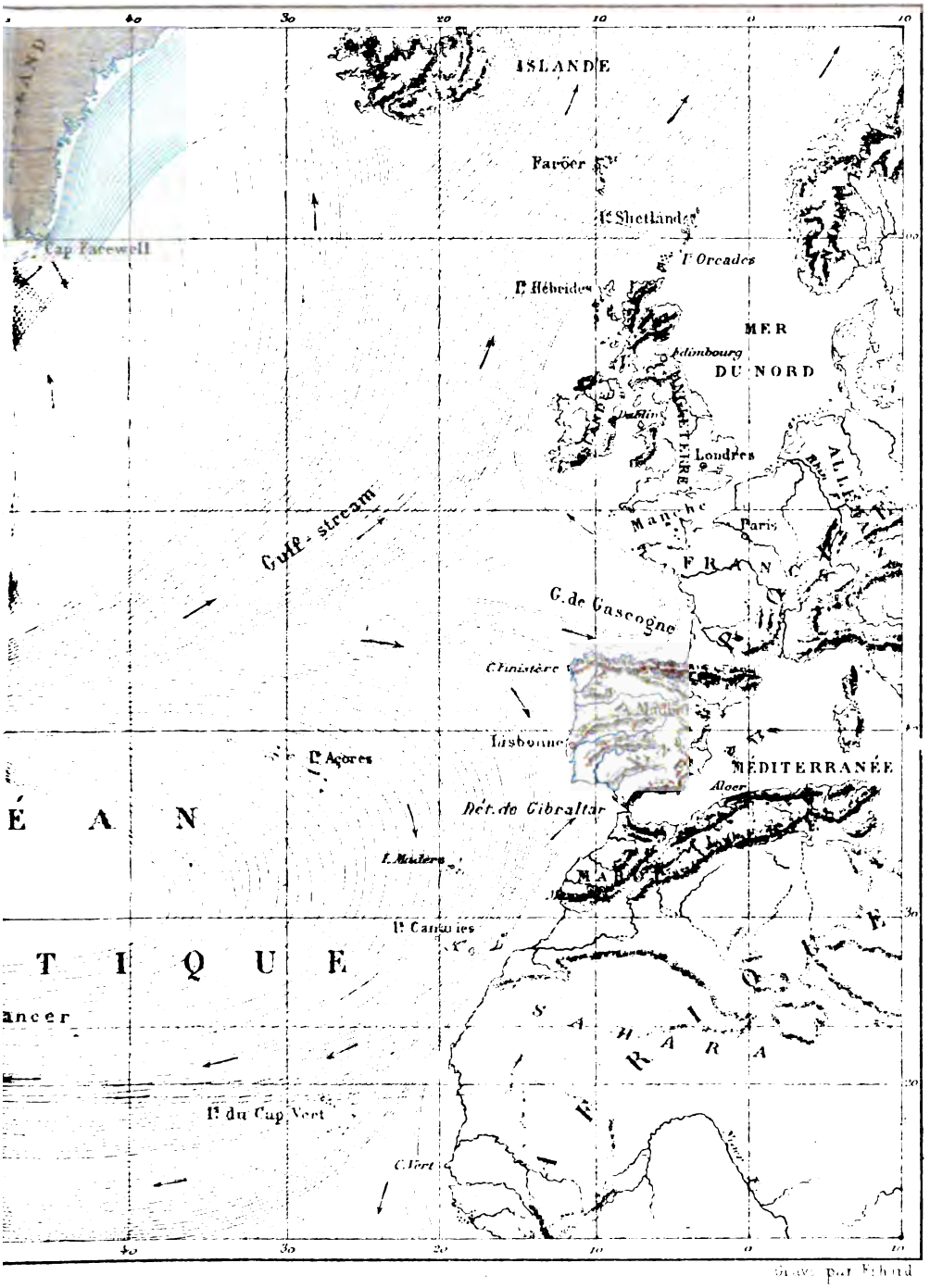
THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

LE COURANT DU GO

Dessiné par A. Vuillemin.

PL. V



Gravé par Erhard

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

le courant est évaluée diversement, sans compter celle qui s'échappe plus à l'est, entre les Bahama[1], à 33, 40 ou 45 millions de mètres cubes par seconde, c'est-à-dire à deux mille fois le débit moyen du Mississipi; et pourtant c'est à l'impulsion de ce cours d'eau de l'Amérique septentrionale que nombre de géographes attribuaient autrefois l'existence du Gulf-stream lui-même. Lorsque les vents de sud, d'ouest ou même de nord-ouest et le mouvement des marées favorisent sa marche, ce courant roule vers l'Atlantique une quantité d'eau bien supérieure à la moyenne; en revanche, lorsqu'il est retardé par les tempêtes qui soufflent du nord-est, il déverse dans l'Océan une masse liquide beaucoup moindre : il se gonfle, s'élève, s'épanche avec fureur sur les terres basses qui le bordent, ravage de vastes espaces et fait disparaître des îles entières. A son embouchure dans l'Océan, le fleuve maritime se comporte comme les rivières qui parcourent les continents : il érode d'un côté, tandis que de l'autre il dépose des alluvions. Sans doute les îles Bahama, qui parsèment la mer à l'est du Gulf-stream, et les *keys* ou écueils qui se développent au nord en une longue rangée, reposent sur un piédestal de bancs sous-marins formés en partie par les atterrissements du grand fleuve[2].

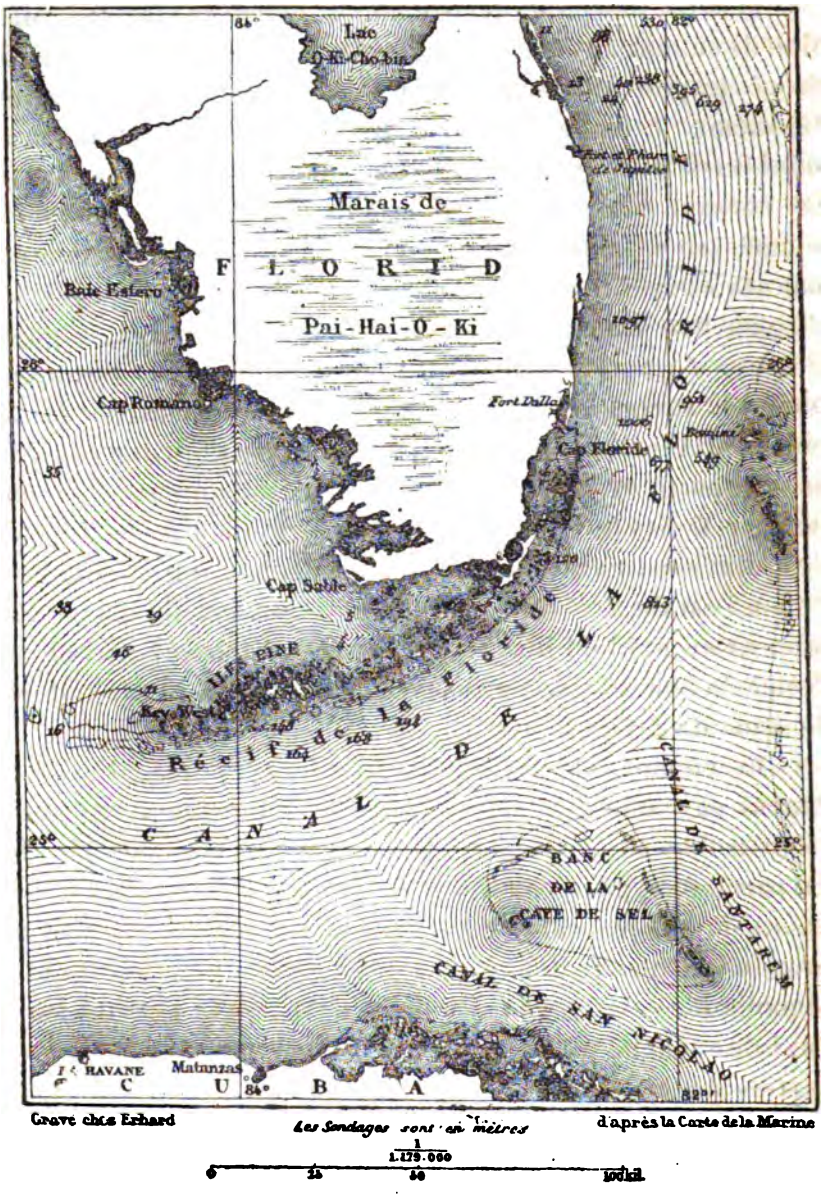
En sortant du détroit de la Floride, le courant du Golfe se déploie et s'étale sur l'Atlantique; mais en même temps sa profondeur devient proportionnellement moins considérable. Tandis que les nappes d'eau froide qui lui servent de rivages s'éloignent de chaque côté et le laissent se répandre sur une plus grande largeur, l'autre couche d'eau froide qui le porte, et sur laquelle il coule comme les fleuves terrestres glissent sur un fond de rochers, se rapproche peu à peu de la surface. Par le travers du cap Hatteras, la profondeur du courant est d'environ 220 mètres, et sa vitesse ne dépasse point 5 kilomètres à l'heure; mais il est deux fois plus large qu'à la sortie du détroit, et s'étale sur un espace de 125 kilomètres. L'épais-

1. Mühry, *Ueber die Lehre von den Meeresströmungen*, p. 24.

2. Agassiz; — R. Thomassy, *Bulletin de la Société de Géographie*, novembre 1860. — Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Faune*.

seur de cette puissante nappe d'eau chaude diminue sans cesse :

CANAL DE LA FLORIDE.



Gravé chez Erhard d'après la Carte de la Marine

Fig. 23.

quand elle a traversé l'Atlantique, elle n'est plus qu'un courant superficiel ; il est vrai qu'alors aussi elle recouvre en lar-

geur une immense étendue maritime depuis les Açores jusqu'à l'Islande et au Spitzberg.

Les sondages opérés, depuis 1845, par les marins du *Coast-Survey* de l'Amérique du Nord ont prouvé que le courant du Golfe longe le littoral des États-Unis à une assez grande distance des côtes. La faible inclinaison des terres basses de la Georgie et des Carolines se continue sous les eaux jusqu'à ce que le plomb de sonde atteigne une profondeur d'environ 90 mètres; alors le sol s'abaisse rapidement et forme une longue vallée parallèle au rivage des États-Unis et aux murailles calcaires des Alleghanys : c'est dans cette vallée, creusée à l'est du piédestal sous-marin des terres américaines, que coulent les eaux du Gulf-stream. Grâce au mouvement de rotation du globe, et probablement aussi à la direction générale des côtes, le courant suit une direction constante vers le nord-est, et ne heurte aucune des pointes avancées du continent. Au large de New-York et du cap Cod, il s'infléchit de plus en plus vers l'est, et, cessant de longer à distance le littoral américain, s'élance en plein Atlantique vers les côtes de l'Europe occidentale. Ainsi que le dit Maury, si de monstrueuses bouches à feu avaient assez de puissance pour lancer des boulets du détroit de Bahama au pôle boréal, les projectiles suivraient à peu près exactement la courbe du Gulf-stream, et, déviant graduellement en route, atteindraient l'Europe en venant de l'ouest.

C'est du 43e au 47e degré de latitude septentrionale, dans les parages du banc de Terre-Neuve, que le Gulf-stream, venu du sud-ouest, rencontre à la surface des mers le courant polaire, découvert par les Cabot dès l'année 1497. La ligne de démarcation entre les deux fleuves océaniques n'est jamais absolument constante, et se déplace suivant les saisons. En hiver, c'est-à-dire de septembre en mars, le courant froid repousse le Gulf-stream vers le sud : car, pendant cette saison, tout le système circulatoire de l'Atlantique, vents, pluies et courants, se rapproche de l'hémisphère méridional, au-dessus duquel voyage le soleil. En été, c'est-à-dire de mars en septembre, le Gulf-stream reprend à son tour la prépondérance, et les parages où il entre en conflit avec le courant polaire remonte de plus

en plus vers le nord. Ainsi le grand fleuve ondulerait çà et là sur les mers, et, suivant la gracieuse expression de Maury, flotterait comme une banderole au souffle de la brise; mais il est probable que souvent la marche des deux courants en lutte n'est modifiée que d'une manière apparente à cause des épanchements superficiels d'eau froide ou d'eau chaude. Le banc de Terre-Neuve, cet énorme plateau qu'entourent de tous les côtés des abîmes profonds de 8 à 10 kilomètres, est dû sans doute à la rencontre des deux masses liquides en mouvement. En entrant dans les eaux tièdes du Gulf-stream, les montagnes de glace se fondent peu à peu et laissent tomber dans la mer les débris qu'elles portaient. Le banc, qui s'élève graduellement du fond de l'Océan, est une sorte de moraine commune pour les glaciers du Groenland et de l'archipel polaire[1]. Après s'être heurtées contre les eaux du Gulf-stream, celles du courant arctique cessent en partie de couler à la surface et descendent dans les profondeurs à cause du plus grand poids que leur donne leur basse température. On peut reconnaître la direction de ce contre-courant, exactement opposée à celle du Gulf-stream, par les montagnes de glace que la tiède haleine des latitudes tempérées n'a pas encore fondues et qui voyagent vers le sud-est, à l'encontre du courant superficiel qu'elles partagent comme des proues de navire. Plus au sud, on ne reconnaît qu'au moyen des instruments de sonde l'existence de ce courant caché, dont les eaux froides servent de lit au fleuve chaud sorti du golfe du Mexique: il descend et descend de plus en plus, jusqu'au détroit des îles Bahama, où le thermomètre le découvre à près de 400 mètres de profondeur.

Toutefois une fraction des eaux du courant polaire se maintient à la surface de la mer, et, glissant le long des côtes occidentales des États-Unis jusqu'à la pointe de la Floride, donne au Gulf-stream des limites nettement tracées. En général, l'eau froide venue des mers arctiques est animée d'une assez grande force d'impulsion pour obliger le

1. Voir, ci-dessus, p. 50.

courant du Golfe à se réployer sensiblement vers le sud et pour lui opposer dans l'autre sens une barrière infranchissable. La partie la plus chaude et la plus rapide du Gulf-stream, qui forme précisément la bande gauche ou occidentale du courant, se trouve immédiatement juxtaposée à une nappe d'eau froide s'épanchant en sens inverse, entre le Gulf-stream et les plages américaines. Ce contre-courant, qui interpose les eaux de la mer glaciale entre le rivage des Carolines et le fleuve tiède sorti du golfe du Mexique, limite le Gulf-stream comme une muraille glacée[1]. Parfois la ligne de démarcation entre les deux masses liquides est tellement précise qu'elle est appréciable au regard et qu'on distingue le moment exact où le navire sort d'un courant pour fendre l'autre de son taille-mer. L'eau du Gulf-stream est d'un bel azur, celle du contre-courant est verdâtre; la première est saturée de sel, la seconde en contient une moindre proportion; l'une est tiède, l'autre est froide; et le thermomètre, plongé alternativement dans les deux liquides, marque aussitôt la différence des températures. Sur la limite des courants, le frottement des deux masses d'eau coulant en sens inverse produit une série de remous, de tourbillons et de vagues courtes qui donnent aux fleuves de l'Océan un aspect analogue à celui des rivières continentales. Parfois on peut même entendre, pareil à un mugissement sourd, le bruit des courants qui se disputent la surface de la mer. Des herbes flottantes et autres débris se déplacent en tournoyant sur la limite incessamment changeante des deux fleuves en lutte[2].

Le Gulf-stream, comme tous les autres courants, finit pourtant par mélanger les eaux de la mer, et tend ainsi à égaliser la proportion du sel et de toutes les autres substances contenues dans la masse liquide. La salinité normale de la mer des Caraïbes est de 36 à 37 millièmes, excepté dans le voisinage de l'embouchure des grands fleuves. Après avoir reçu les eaux douces du Mississipi et les rivières visibles et souterraines de la Floride, le courant du Golfe ne contient pas tout à fait

1. Franklin Bache, *United-States Coast-Survey*.
2. Kohl. — Fitz-Roy, *Adventure and Beagle*, Appendice au deuxième volume.

36 millièmes de substances salines; mais sa teneur augmente peu à peu à mesure qu'il avance vers le nord. Au large de Terre-Neuve, où les eaux du Saint-Laurent et de plusieurs autres fleuves, ainsi que les glaces fondues, les brouillards et les fortes pluies, ont adouci les vagues de la mer, le Gulf-stream ne contient plus même 34 pour 1,000 de matières salines, mais il regagne peu à peu la proportion de 35 millièmes en se dirigeant vers les côtes de l'Europe occidentale et les régions polaires. Les courants d'eau froide qui lui servent de lit sont tous moins riches en substances salines, ainsi que l'ont prouvé Forchhammer et d'autres chimistes ; mais par suite du mélange incessant des eaux, il se produit en beaucoup de parages une égalisation de salure entre les courants[1].

Une autre œuvre du Gulf-stream, non moins importante dans l'économie planétaire, est celle qu'il accomplit, de concert avec des vents du sud-ouest[2], mais il faut le dire, dans une mesure incomparablement moindre, sur le climat de l'Europe occidentale. En tournoyant dans le golfe du Mexique, comme dans une immense chaudière, les eaux du courant se réchauffent graduellement; quand elles s'échappent du détroit de la Floride pour faire leur entrée dans l'Océan, leur température n'est pas moindre de 30 degrés centigrades, et dépasse d'environ 5 degrés la chaleur normale des couches liquides avoisinantes. Le calorique des eaux du Gulf-stream ne se perd que lentement, et pendant les jours d'hiver, les eaux du courant ont souvent au large du cap Hatteras et du banc de Terre-Neuve, une température dépassant de 12 ou même de 16 degrés centigrades celle de tout le reste de l'Atlantique sous les mêmes latitudes; quand elles rencontrent le courant polaire, elles ont encore une chaleur de plus de 20 ou même 25 degrés centigrades, tandis qu'à une distance de quelques centaines de kilomètres, sur les côtes du Labrador, l'eau marine se trouve quelquefois à 4 degrés au-dessous du point de glace; en dépit des latitudes, les eaux de la zone tropicale et

1. Forchhammer, *Philosophic Transactions*, part. I, p. 241, 1865.
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Climats*.

celles de la zone glaciale se sont juxtaposées. Dans leur marche vers le nord, les nappes de la surface, qui par suite du rayonnement sont devenues plus froides que les couches sous-jacentes, descendent à une profondeur plus ou moins grande dans la masse du courant, et sont remplacées par des eaux plus chaudes et plus légères situées immédiatement au-dessous. Il se produit ainsi une alternative constante de positions entre les nappes liquides du Gulf-stream, et l'on peut en conséquence remarquer, en traversant le courant dans toute sa largeur, une série de bandes parallèles d'une température inégale[1]. Dans chacune de ces bandes, les eaux chaudes s'élèvent tour à tour à la surface refroidie de la mer. Chose remarquable, si le Gulf-stream ne coulait pas, comme il le fait, dans un lit entièrement composé d'eau froide, et se mouvait sur le fond même de l'Océan, il perdrait rapidement sa haute température et cesserait par conséquent d'être un foyer de chaleur pour l'Europe occidentale. En effet, le sol terrestre étant un bon conducteur du calorique, les eaux tièdes du courant lui communiqueraient leur température et finiraient par se refroidir tout à fait; mais les eaux froides du courant polaire, interposées entre le fond de la mer et les couches du Gulf-stream, servent à celles-ci d'écran protecteur pour empêcher le refroidissement.

La quantité de chaleur que le courant du Golfe entraîne vers les régions septentrionales est une partie très-notable du calorique emmagasiné dans les eaux sous le climat torride. Les cétacés, les poissons et les autres habitants de la zone tropicale descendent le cours du Gulf-stream sans s'apercevoir qu'ils ont changé de patrie, et souvent ils poussent leurs voyages aventureux jusqu'aux Açores et sur les côtes de l'Islande; les oiseaux du sud remontent aussi vers le nord dans la couche d'air attiédie qui repose sur le courant. Les animaux des mers septentrionales, au contraire, sont retenus prisonniers dans l'océan Glacial, et les baleines franches, dit Maury, reculent devant le Gulf-stream, comme devant une « barrière de flam-

1. Franklin Bache, *United-States Coast-Survey.*

mes. » La chaleur totale du courant suffirait, si elle était ramenée sur un seul point, pour fondre des montagnes de fer et faire couler un fleuve de métal aussi puissant que le Mississipi; elle suffirait encore pour élever d'une température d'hiver à une température estivale constante toute la colonne d'air qui repose sur la France et les îles Britanniques. Aussi, bien qu'il s'épanche sur d'énormes espaces à l'ouest et au nord de l'Europe, le courant du Golfe exerce une influence prépondérante sur le climat de cette partie de l'ancien monde. Grâce à la tiédeur de ses eaux, les lacs des Feröer et des îles Shettland ne gèlent jamais pendant l'hiver; la Grande-Bretagne s'enveloppe de brouillards comme d'un immense bain de vapeurs, et le myrte croît sur les rivages de l'Irlande, cette « émeraude des mers », sous la même latitude que le Labrador, le pays des glaces. Dans la verte Erin, île privilégiée sous tant de rapports, les côtes occidentales, les premières que le Gulf-stream rencontre après la traversée de l'Atlantique, jouissent d'une température de 2 degrés plus élevée que ne l'est celle des côtes de l'est. En dépit de la marche du soleil, il fait en moyenne aussi chaud en Irlande, sous le 52e degré de latitude, qu'aux États-Unis, sous le 38e degré, à 1,650 kilomètres de plus dans la direction de l'équateur. « Les Anglais nous volent notre climat », disent souvent par plaisanterie les Américains du nord.

Le courant du Golfe, qui porte la chaleur tropicale aux régions tempérées de l'Europe, sert aussi très-souvent de grand chemin aux ouragans : de là les noms de *weather-breeder* (père des tempêtes), et de *storm-king* (roi des orages), que l'on a donnés au Gulf-stream[1]. Les mouvements de l'océan atmosphérique et ceux de l'océan des eaux se produisent suivant un parallélisme si complet, qu'on serait tenté de voir un seul et même phénomène dans l'ensemble des courants aériens et maritimes[2]. Ainsi le Gulf-stream semble être pour les vents comme il l'est vraiment pour les eaux, le grand intermédiaire entre les deux mondes. Il porte aux mers du nord de l'Europe

1. F. Maury, *Geography of the Sea.*
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *l'Air et les Vents.*

les matières salines du golfe des Antilles; il entraîne avec lui la chaleur des tropiques pour en faire profiter les régions tempérées; il marque la route que suivent les torrents d'électricité dégagés par les ouragans des Antilles. C'est bien ce grand serpent des poëtes scandinaves qui développe son immense anneau à travers l'Océan, et, de sa tête qu'il balance çà et là sur les rivages, souffle une douce brise ou vomit la foudre et les tempêtes.

Le courant du Golfe traverse l'Atlantique avec une vitesse moyenne de 38 kilomètres par jour, ainsi qu'on a pu le constater, soit par des mesures directes opérées sur divers points de l'Océan, soit au moyen de billets qui, après avoir été lancés par-dessus bord dans des bouteilles soigneusement fermées, ont voyagé au gré des flots pendant des semaines ou des mois, puis ont été repêchés en d'autres parages ou recueillis sur une grève de la mer. Dans leur long trajet, les eaux profondes du fleuve marin d'Amérique ne transportent guère d'autres alluvions que la poussière vivante d'animalcules qui remplit les eaux tièdes du courant pour tomber en neige incessante sur le fond de la mer; mais à la surface du Gulf-stream flottent çà et là des troncs et des branches d'arbres qui vont échouer ensuite sur une plage d'Europe et jusque sur les côtes de l'Islande et du Spitzberg : c'étaient là tous ces débris que nos ancêtres du moyen âge croyaient provenir de l'île fabuleuse de Saint-Brandan ou d'Antilia, et qui donnaient à réfléchir aux navigateurs audacieux, tels que le grand Colomb[1]. Des graines apportées du nouveau monde par le courant ont trouvé un sol favorable sur le rivage des Açores, et, bien qu'à des milliers de kilomètres de la terre natale, ont germé et conquis l'archipel. Souvent aussi les flots du Gulf-stream entraînent en Europe des produits brisés de l'industrie humaine et les épaves de navires détruits. Pendant la guerre de Sept ans, on retrouva sur les côtes septentrionales de l'Écosse le grand mât d'un vaisseau de guerre anglais, le *Tilbury*, qu'un incendie avait détruit près de Saint-Domingue. De même une barque de rivière chargée

1. J. G. Kohl, *Geschichte des Golfstroms*, p. 17.

d'acajou aborda un jour aux Feröer; les débris de navires rompus dans les parages de la Guinée ont été poussés sur le littoral des îles Britanniques, après avoir traversé deux fois l'Océan en sens inverse; souvent même des Esquimaux ont été portés par les flots vers les Orcades[1].

Il est assez difficile de préciser nettement la marche du Gulf-stream dans les mers de l'Europe occidentale, à cause de l'énorme largeur de sa nappe mouvante. On peut dire qu'il s'étale en réalité sur tout l'Océan, des Açores au Spitzberg; mais, ayant perdu en force d'impulsion ce qu'il a gagné en étendue, il se laisse infléchir en remous latéraux jusqu'à ce qu'il soit complétement détourné de son cours par les promontoires des côtes d'Europe. Seule, la partie du courant qui passe au nord de l'Irlande et de la Grande-Bretagne peut garder sa direction première. Elle baigne toutes les îles situées entre l'Écosse et l'Islande, réchauffe les côtes de la Norvége, va fondre en Laponie les glaces du port de Hammerfest, puis se prolonge dans les mers polaires vers le Spitzberg; ainsi que l'expédition suédoise l'a constaté en 1861, le courant se fait sentir même sur les rivages septentrionaux de ce dernier archipel, puisque sur la plage de Shoal-Point, située à plus de 80 degrés de latitude nord, on a trouvé des graines d'une plante des Antilles (*entada gigalobium*). Il est certain que le courant va baigner aussi les côtes occidentales de la Nouvelle-Zemble, car on y a trouvé des bouteilles provenant d'une verrerie de la Norvége et des filets de pêcheurs scandinaves.

Comment ces eaux, qui s'étalent en large nappe à la surface des mers glaciales, continuent-elle leur marche vers le pôle? Là commence l'hypothèse, puisque nul navigateur n'a pu encore explorer ces parages et en étudier le régime hydrologique; mais du moins on connaît en partie les origines du courant polaire, et, par la direction que prend cette masse d'eau, on peut indiquer celle que doit suivre le Gulf-stream lui-même. Le long de toutes les côtes septentrionales de la Sibérie, ainsi que nous l'ont appris Wrangel et d'autres explorateurs,

1. Humboldt, *Tableaux de la nature*, notes.

un courant d'eau froide se porte de l'est à l'ouest. Rencontrant sur son chemin la grande île de la Nouvelle-Zemble, il en recouvre les plages et les écueils d'énormes quantités de glace qui rendent l'île tout à fait inhabitable et ferment les détroits à la navigation. Arrêtées par cette barrière, les eaux du courant glacial sont obligées de refluer, en se dirigeant au nord-ouest vers le Spitzberg, dont elles contournent l'archipel au nord pour entrer ensuite dans les parages du Groenland. C'est là qu'elles commencent enfin à prendre directement le chemin des mers équatoriales : tous les navigateurs qui se sont hasardés au nord-ouest de l'Islande ont reconnu l'existence de ce courant qui longe le littoral jusqu'au cap Farewell; sa vitesse moyenne, d'après Graah et Scoresby, est de 5 à 6 kilomètres par jour.

Au sud du Groenland, la nappe amincie du Gulf-stream doit rencontrer ce courant transversal, et sans doute, par suite du poids plus considérable que lui donne sa forte teneur en substances salines, elle plonge dans les profondeurs pour se changer en un courant sous-marin, qui finit par se mêler complétement aux eaux froides des mers boréales et reflue ensuite vers l'équateur en sens inverse de sa première direction. Ainsi le fleuve d'eau tiède sorti du golfe du Mexique alimente, par ses apports incessants, les contre-courants polaires, et le grand circuit s'établit de la zone des chaleurs à celle des glaces. Peut-être même le reflux du Gulf-stream s'accomplit-il parfois, sous la pression des eaux du nord, par un brusque renversement : c'est là ce qui expliquerait la forte salinité de 35 millièmes que Forchhammer a trouvé dans les eaux du courant polaire à l'est du Groenland.

Ce n'est point seulement dans la large étendue de l'Atlantique boréal, de la Nouvelle-Zemble à l'Islande, que le Gulf-stream prend un cours sous-marin, c'est également, paraît-il, dans la mer de Baffin, à l'ouest du Groenland. En effet, du cap Farewell jusqu'à 8 degrés plus au nord, on a constaté l'existence d'un courant littoral qui porte les glaces dans une direction exactement contraire à celle du courant qui suit à l'ouest les côtes du Labrador et qui sert de grand chemin aux banqui-

ses en débâcle[1]. On considérait naguère ce courant comme la continuation de celui qui longe du nord au sud les côtes orientales du Groenland, et qui se serait brusquement reployé autour du cap Farewell; mais il est beaucoup plus naturel de penser que le courant polaire continue directement sa route vers le grand foyer d'appel des mers tropicales. Dans ce cas, le courant de la côte occidentale du Groenland serait tout simplement une branche du Gulf-stream, et ce qui le rend presque certain, c'est que les eaux en sont relativement tièdes; la mer gèle peu sur le littoral qu'elle baigne, et le climat y est en moyenne de 5 degrés plus chaud que sur les rivages tournés vers l'orient. Vers le 78e degré de latitude, ce courant riverain cesse complétement, et c'est là sans doute qu'il redevient sous-marin pour aller peut-être refluer à la surface de la mer libre de Kane[2].

Du reste si, dans les mers glaciales, les diverses branches du Gulf-stream se changent en contre-courants inférieurs, les courants polaires en font autant plus au sud et deviennent le lit des eaux qui se portent vers le nord. Celles-ci contiennent, il est vrai, plus de substances salines, mais elles sont aussi plus tièdes: alourdies par le sel, elles sont allégées par leur haute température, de sorte qu'une légère différence de chaleur ou de salinité peut en modifier l'équilibre et leur faire changer de position avec le courant polaire. Dans les mers tempérées, où elles sont encore tièdes et fortement salées, elles surnagent; elles s'enfoncent, au contraire, dans les mers glaciales, où elles se sont refroidies et où s'opère le mélange des eaux salées. C'est là ce qui explique le croisement des courants. Au nord du Spitzberg et de la Nouvelle-Zemble, le Gulf-stream est une nappe sous-marine: au sud de l'Islande ce sont les eaux venues du pôle qui coulent dans les profondeurs. Non loin des Feröer, la sonde peut même indiquer la direction suivie par le contre-courant glacial, grâce aux couches de débris volcaniques qui ont été apportés des côtes de l'Islande et répartis entre le 47e et le 52e degré de latitude nord sur un espace de 25 de-

1. Voir, ci-dessus, p. 50.
2. Graah. — Mühry, *Mittheilungen von Petermann*, t. II, 1867

grés de longitude. Ce fleuve caché doit couler, au moins en certains endroits, sur le fond même de la mer, car divers sondages opérés par Mac-Clintock au sud-est de l'Islande montrent que tous les détritus légers ont été balayés par les eaux[1].

Si le Gulf-stream projette vers le nord diverses branches qui contribuent à former le vaste tourbillon circumpolaire, de même une autre branche, coulant vers le midi, va gonfler le courant équatorial. Ce rameau du Gulf-stream, dont une branche pénètre dans la baie de Biscaye pour former le courant côtier dit de Rennell[2], longe les côtes de la péninsule ibérique, suit le littoral de l'Afrique, puis, au sud des Canaries et des îles du cap Vert, où se produisent des courants latéraux, entre dans ce grand fleuve maritime qui déplace les eaux de l'est à l'ouest, « suivant la marche des cieux. » Ainsi se complète l'immense tournoiement de l'Atlantique au centre duquel s'étendent en archipels les prairies de la mer de varech[3]. C'est grâce à ce perpétuel circuit que la navigation à voiles a pu rapprocher le nouveau monde de l'Europe occidentale. Si Colomb n'avait pas utilisé le courant semi-circulaire qui porte des côtes de l'Espagne aux Antilles, il n'eût certainement pas découvert l'Amérique; si le pilote Alaminos et, depuis son premier voyage, la plupart des navigateurs qui reviennent des Antilles et des États-Unis n'avaient pas, à leur insu ou bien en connaissance de cause, suivi le cours du Gulf-stream, les côtes américaines seraient restées pratiquement beaucoup plus éloignées de l'Europe qu'elles ne le sont en réalité; les colonies, devenues prospères comme républiques indépendantes, seraient encore dans un déplorable isolement : la civilisation aurait été singulièrement retardée, ou même arrêtée complétement par suite du manque d'aliments nouveaux. Quant au commerce proprement dit, on peut juger de l'influence qu'exerce à cet égard le mouvement des eaux de l'Atlantique en examinant sur la carte la position des grands centres d'échange. La Havane et la Nouvelle-Orléans, les deux principaux

1. Wallich, *North Atlantic Sea-bed*, p. 6, 7.
2. Voir, ci-dessous, p. 101.
3. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Flore*.

marchés des Antilles et des États mississipiens sont, pour ainsi dire, à la source du Gulf-stream. New-York est situé en face du principal coude de ce courant, à l'endroit où l'énorme fleuve venu des Antilles se reploie vers l'Europe; enfin Liverpool est, parmi tant d'autres ports considérables que le Gulf-stream baigne à son arrivée sur les côtes de l'ancien monde, l'un de ceux qui se trouvent le plus directement sur le chemin des eaux.

Lorsque Franklin découvrit, en 1775, que le marin a seulement à plonger un thermomètre dans l'eau de l'Atlantique pour reconnaître s'il vogue sur le Gulf-stream ou bien en dehors de son cours, l'illustre savant comprit aussitôt l'importance de ce fait pour la navigation; longtemps même il crut devoir le cacher, dans la crainte que le gouvernement anglais, alors en guerre avec les colonies d'Amérique, ne profitât de cette découverte pour envoyer plus rapidement des vaisseaux et des hommes contre les provinces révoltées. Après l'expulsion définitive des soldats anglais, aucun péril de ce genre n'étant plus à redouter, tous les navigateurs purent désormais connaître d'une manière précise la grande route qu'ils avaient à suivre en plein Océan pour se rendre directement de l'Amérique en Europe, puis à éviter pour effectuer la traversée en sens inverse. Déjà, vers le milieu du siècle dernier, les baleiniers de Nantucket et les marins du Rhode-Island étaient arrivés par l'expérience à choisir pour l'aller et le retour deux itinéraires différents : ils se laissaient porter par le Gulf-stream pour « descendre » en Angleterre, puis, en revenant, croisaient le courant sur les bancs de Terre-Neuve et « montaient » avec le contre-courant polaire[1]; dans leurs voyages, ils distançaient en moyenne de 120 kilomètres par jour les bâtiments des autres ports de mer. Actuellement les progrès de la navigation permettent d'utiliser la force impulsive des courants de l'Atlantique boréal encore bien mieux que ne savaient le faire les matelots de Providence. La durée normale des traversées a été réduite de moitié : jadis on comptait huit

1. J. G. Kohl, *Geschichte des Golfstroms*, p. 103.

semaines pour un voyage d'Angleterre aux États-Unis; maintenant quatre semaines suffisent aux navires à voiles et quelques-uns même ont fait la traversée en dix-sept jours seulement; les bateaux à vapeur, qui, eux aussi, ont leur double

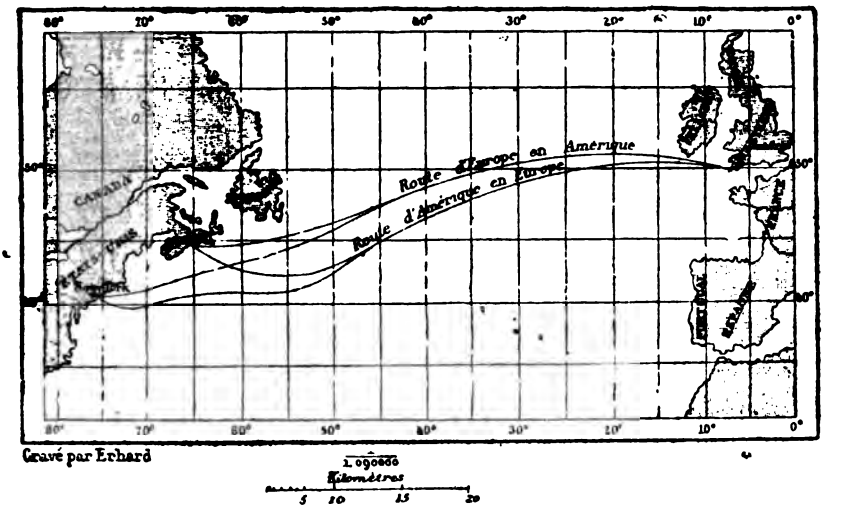


Fig. 24. — Route des bateaux à vapeur; d'après Maury.

itinéraire afin d'utiliser le courant, accomplissent leur trajet en neuf et dix jours. Pour le commerce, la civilisation et la fraternité des peuples, un pareil résultat n'est pas moins important que si les continents eux-mêmes s'étaient déplacés sur la rondeur de la terre pour rétrécir des trois quarts l'Océan qui les sépare.

III.

Courants de l'Atlantique méridional et de la mer des Indes. Double remous de l'océan Pacifique.

Le circuit des eaux qui s'accomplit au sud de l'équateur dans le bassin méridional de l'Atlantique est beaucoup moins connu que celui dont le Gulf-stream fait partie; mais tout ce

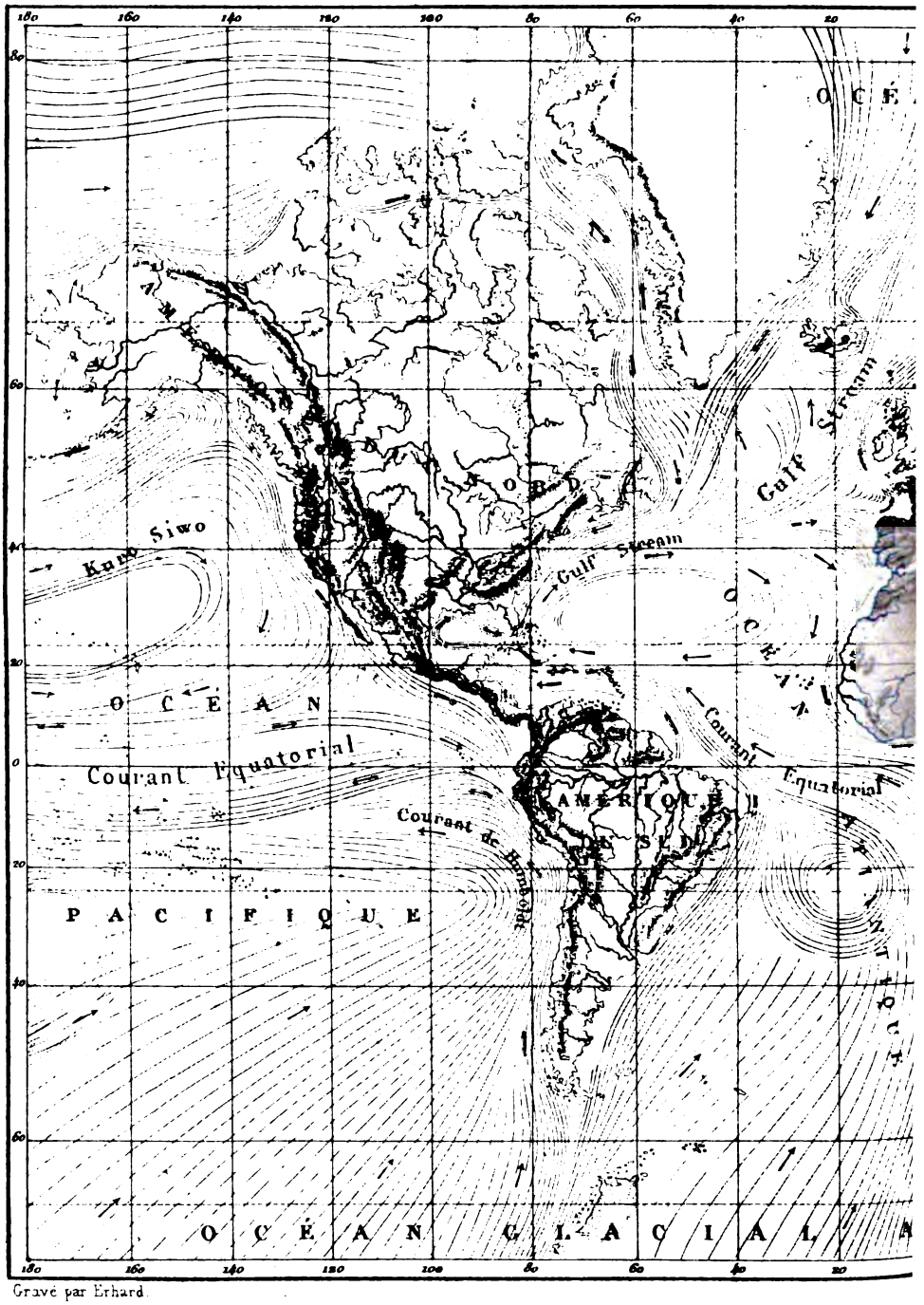
qu'en ont observé les navigateurs prouve que les mouvements de la masse liquide sont analogues dans les deux hémisphères. Un courant d'eau froide venant des mers antarctiques vient se heurter contre le banc des Aiguilles, au sud du continent africain, et se divise en deux branches, dont l'une rentre dans l'océan Indien, tandis que l'autre longe les côtes occidentales de l'Afrique, pénètre dans le golfe de Guinée, et, par suite du mouvement de la terre, se reploie vers l'ouest en un grand demi-cercle. Au sud des îles du cap Vert, les eaux venues des mers australes se joignent à celles qui se sont épanchées de l'océan Glacial du nord, et, réunies en un fleuve de 1,000 ou 1,500 kilomètres de largeur, se meuvent lentement dans la direction de l'Amérique du Sud et des Antilles. La plus grande masse des eaux aborde le continent au nord du cap Saint-Roch, le promontoire avancé du Brésil, et, longeant au nord-ouest les côtes des Guyanes et du Venezuela, entre dans la mer des Caraïbes pour y former le Gulf-stream. Une fraction moins considérable du courant équatorial se reploie au sud du cap Saint-Roch et suit au sud-ouest le littoral brésilien; mais en descendant vers les latitudes de plus en plus rapprochées du pôle austral, l'eau marine venue de l'équateur gagne incessamment sur le mouvement de la terre qui l'emporte; par suite, elle se reploie au sud, puis au sud-est, et, sorte de Gulf-stream en sens inverse, elle va frapper le courant polaire à l'est des îles Falkland, dont la position correspond, dans l'hémisphère méridional, à celle de Terre-Neuve dans l'hémisphère du nord. Là le courant d'eau tiède, après avoir déposé sur les rivages des îles Falkland le bois de dérive pris sur les côtes brésiliennes, s'abaisse sous les couches plus légères du courant glacial, tandis que celui-ci se dirige au nord-est vers Sainte-Hélène et va rejoindre le grand fleuve équatorial; après une période qu'on peut évaluer à deux ou trois années, le circuit se trouve accompli[1].

Les observations peu concordantes et parfois contradictoires faites par les divers marins qui ont étudié les phéno-

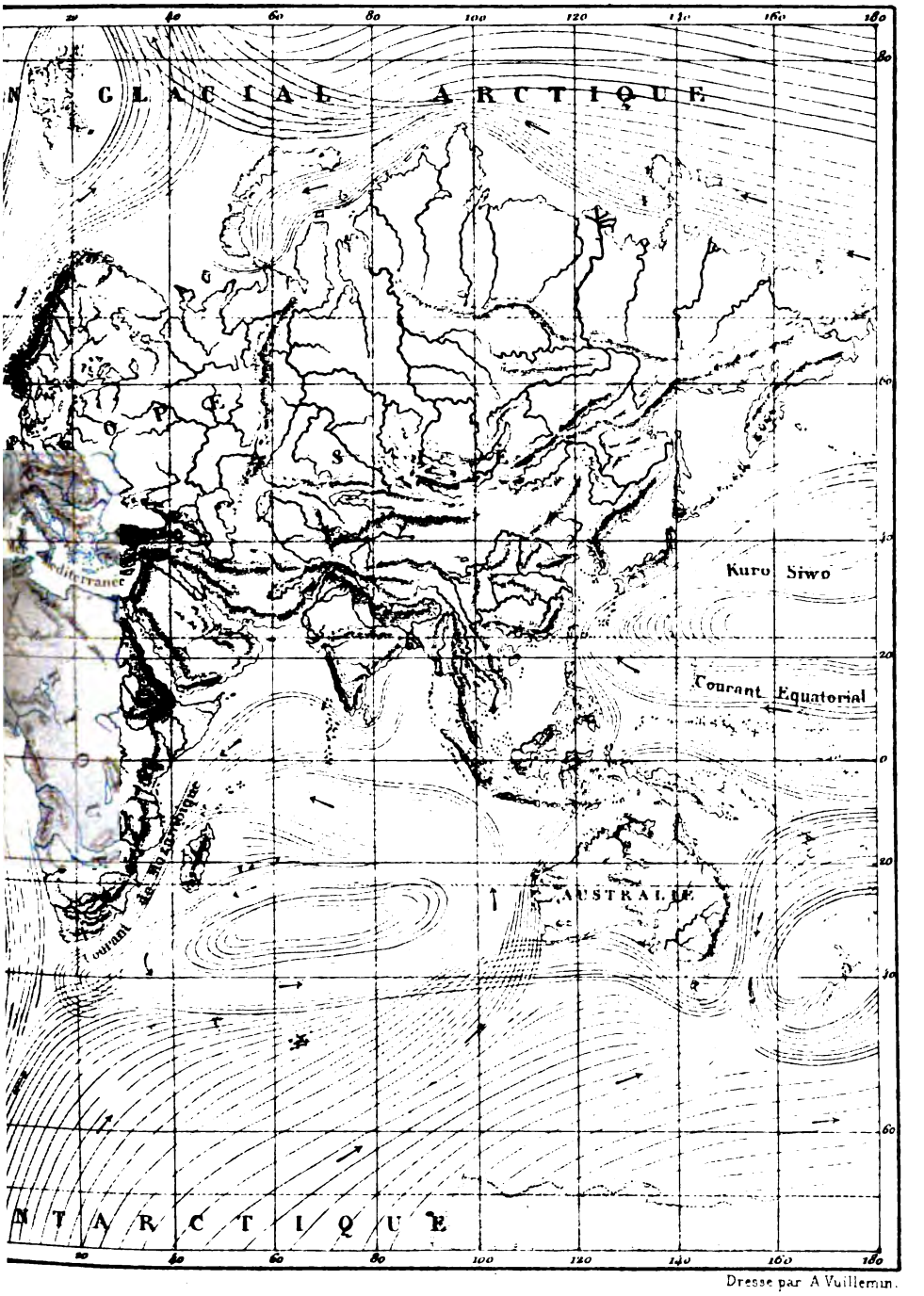
1. *Mittheilungen von Petermann*, t. X, 1866.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

COURANTS



Gravé par Erhard.



Dressé par A. Vuillemin.

PUBLIC LIBRARY

mènes des eaux dans l'Atlantique méridional paraissent mettre hors de doute que les courants de ce bassin n'ont point une régularité d'allures comparable à celle des courants de l'Atlantique boréal; il arrive fréquemment que l'eau ne se dirige pas dans le sens indiqué par les cartes, ou même qu'elle se porte dans une direction inverse du mouvement normal. La raison de cette différence entre les deux bassins est toute naturelle. Tandis que l'Atlantique du Nord est une mer très-régulière dans sa forme générale, et que des rivages presque parallèles la limitent de chaque côté, l'espace des eaux situé entre l'Afrique et l'Amérique méridionale s'ouvre très-largement du côté des terres glaciales du sud; il fait en réalité partie du grand Océan qui s'étend sur tout le pourtour de la terre, au sud des trois extrémités méridionales des continents; mais par suite de la disposition irrégulière de ses côtes les variations du régime normal des eaux ne peuvent manquer d'y être très-fortes. Les eaux froides du pôle antarctique, chargées de fragments de banquises et de montagnes de glace, affluent, il est vrai, d'un mouvement continu pour remplacer les vapeurs qui s'élèvent incessamment de l'Atlantique équatorial; mais le jeu régulier des courants se modifie tantôt sur un point, tantôt sur un autre, suivant la plus ou moins grande activité de l'évaporation dans les parages de la mer; en outre, les vents changeants du littoral, qui soufflent alternativement de l'Océan vers les terres et des terres vers l'Océan, impriment des mouvements variables à la surface.

La mer des Indes a également son grand circuit des eaux. Là aussi des masses liquides, refroidies par leur séjour sous la zone glaciale, sont incessamment en marche pour combler les vides produits par une évaporation annuelle de 4 ou 5 mètres d'épaisseur. Elles longent la côte occidentale de l'Australie et s'unissent ensuite aux eaux venues du Pacifique par le détroit de Torres et l'archipel de la Sonde; mais là le courant régulier semble se perdre, et l'on ne voit plus dans les golfes du Bengale et d'Oman que des fleuves maritimes changeant de cours avec les moussons. Toutefois il faut bien qu'en réalité le mouvement général des eaux se continue de l'est à l'ouest autour du

vaste bassin, car sur la côte orientale de l'Afrique un courant d'eau tiède, sans cesse alimenté par les mers qui baignent l'Hindoustan et l'Arabie, se dirige au sud-ouest, s'engouffre, sous le nom du courant du Mozambique, entre l'île de Madagascar et le continent, rase le bord sous-marin du grand banc des Aiguilles et s'épanche dans l'océan Antarctique, après avoir mêlé une partie de ses eaux au remous de l'Atlantique méridional. A l'endroit où il est le plus rétréci, le courant du Mozambique est presque aussi rapide que le Gulf-stream, et se déplace avec une vitesse de 7 kilomètres à l'heure. Au centre du tourbillon de l'océan Indien, de même que dans l'Atlantique boréal et dans la mer du Sud s'étendent des prairies de varech.

Le circuit des courants commence dans le grand océan Pacifique de la même manière que dans les autres bassins. Un immense fleuve d'eau froide, d'une largeur inconnue, vient frapper l'archipel de Magellan, au sud de l'Amérique, et se divise en deux courants partiels, dont l'un, pénétrant dans l'Atlantique, à l'est des îles Falkland, où n'abordent jamais les glaces, va se joindre à la grande ronde des eaux entre l'Afrique et le Brésil, tandis que l'autre s'élance directement au nord en longeant les côtes de la Patagonie, du Chili, du Pérou : c'est le courant de Humboldt, ainsi nommé d'après le célèbre voyageur qui a le plus attiré l'attention du monde savant sur ce fleuve des mers, d'ailleurs bien connu avant lui de tous les navigateurs du Pacifique. Il entraîne avec lui de grandes montagnes de glace souvent remplies de pierres et de débris tombés des montagnes antarctiques, et par la fraîcheur de ses eaux produit un abaissement très-remarquable de la température dans tous les pays dont il baigne les rives. Cette masse liquide, qui sur les côtes du Chili n'a pas moins de 1,250 mètres de profondeur, donne à la végétation du pays une analogie remarquable avec celle de Sainte-Hélène, que baigne, à plus de 7,000 kilomètres de distance, un autre embranchement du courant antarctique. Humboldt et Duperrey ont constaté qu'au large des côtes de Callao et de Guayaquil, c'est-à-dire sous l'un des climats les plus secs et les plus exposés à la force des rayons

solaires, le courant est en moyenne à 15 ou 16 degrés centigrades, tandis que les mers avoisinantes sont plus chaudes de 11 et 12 degrés : aucune branche de corail ne peut prendre racine sur les écueils et les rivages baignés par ce courant d'eau froide. Le fleuve polaire change tout sur son passage, flore, faune, climats et même l'histoire de l'humanité. Si l'air n'était constamment rafraîchi par le contact des eaux froides venues du pôle et par les vents qui soufflent de la mer, le Pérou, que les pluies arrosent si rarement, serait transformé en un autre désert de Sahara; la vie de l'homme y deviendrait presque impossible. Par ce courant, les distances se trouvent aussi très-notablement diminuées, et Valparaiso, Coquimbo, Arica, Callao, sont en réalité moins éloignés de l'Europe qu'ils ne le paraissent sur la carte, car, après avoir contourné le cap Horn, les navires qui longent la côte occidentale de l'Amérique du Sud sont poussés de 20 à 30 kilomètres chaque jour par le courant.

S'élargissant de plus en plus du côté de la haute mer, le courant de Humboldt finit par abandonner le littoral et se reploie vers l'est pour mêler ses eaux à celles du courant équatorial qui se porte de l'est à l'ouest à travers le Pacifique. Cette masse liquide en mouvement est sans aucun doute le fleuve océanique le plus puissant de la planète. D'après Duperrey, il n'aurait pas moins de 5,500 kilomètres de largeur moyenne, du 26e degré de latitude sud au 24e degré de latitude nord, et dans son immense voyage en ligne droite autour de la terre il traverse de 130 à 140 degrés de longitude, c'est-à-dire plus d'un tiers de la circonférence du globe. Sa vitesse moyenne est, comme celle du courant de Humboldt, d'environ 30 kilomètres par jour, mais en certains endroits on constate aussi, suivant les saisons, une marche deux fois plus rapide. Quelle énorme quantité d'eau se déplace ainsi d'un bout de la mer à l'autre, c'est là ce qu'on ignore, car il faudrait connaître l'épaisseur moyenne du courant et les sondages ne l'ont point encore révélée. On sait seulement qu'à l'endroit où les eaux venues du pôle commencent à se reployer vers l'ouest pour entrer dans le grand mouvement équatorial, elles cheminent

en masse dans la même direction jusqu'à la profondeur d'au moins 1,780 mètres.

Au milieu des innombrables îles qui parsèment le Pacifique, la régularité générale du courant est fréquemment troublée, du moins à la surface, par suite de l'évaporation, des pluies et même de l'incessant travail des zoophytes qui rompent diversement l'équilibre de l'eau; mais sous la triple influence de la rotation terrestre, des vents alizés et de la grande vague de marée qui se propage de l'est à l'ouest à travers l'Océan[1], la quantité d'eau qui se déplace chaque jour vers l'occident est certainement de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres cubes. La seule anomalie qui semble inexplicable dans ce prodigieux mouvement des eaux du Pacifique, c'est l'existence d'un fleuve océanique coulant en sens inverse du courant principal. On a observé ce reflux au nord de l'équateur sur une largeur moyenne de près de 500 kilomètres; d'ailleurs sa vitesse est variable et sa marche n'est pas toujours franchement dirigée vers l'orient. En l'absence de mesures et d'expériences certaines qui permettent de se rendre un compte exact de la marche de ce contre-courant dans les diverses saisons, on a proposé plusieurs hypothèses pour en expliquer l'origine. L'opinion commune est que ce sont des masses d'eau infléchies dans leur course et rejetées en arrière par des plateaux sous-marins[2]. Néanmoins il est beaucoup plus simple d'admettre que c'est là un phénomène normal, car dans l'océan Atlantique on a constaté aussi que des remous latéraux se portent en sens inverse de la grande masse liquide coulant de l'est à l'ouest.

Arrivé au terme de son voyage à travers l'océan Pacifique, le courant équatorial doit forcément changer de direction. Une partie de ses eaux, poussée, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, par les moussons qui se succèdent aux abords des continents d'Asie et d'Australie, s'épanche dans l'océan des Indes par les détroits peu profonds des îles de la Sonde;

1. Voir, ci-dessous, p. 115.
2. Herschel, *Physical Geography*, p. 57.

mais la grande masse du courant est rejetée soit au sud, soit au nord, par la résistance des rivages sur lesquels elle se heurte et se brise. La partie de l'eau qui frappe les côtes australiennes est infléchie vers le sud et se porte dans la direction des terres antarctiques; elle coule ainsi en sens inverse du courant polaire, qu'elle finit par rencontrer au sud de la Nouvelle-Zélande, puis elle plonge sous les eaux froides, que leur moindre salinité rend plus légères. A l'est et au nord-est, c'est au courant venu des mers antarctiques à compléter l'énorme circuit que décrivent les eaux autour du bassin méridional du Pacifique.

L'autre moitié du courant équatorial, infléchie par la Nouvelle-Guinée, les Philippines et cette longue barrière d'îles placée en avant de la Chine, se reploie graduellement vers le nord et longe les côtes extérieures du Japon. C'est le Gulf-stream de l'océan Pacifique, appelé aussi courant de Tessan, à cause du marin qui en a révélé l'existence aux savants d'Europe; mais depuis des centaines et peut-être des milliers d'années, les Japonais le connaissaient et en tenaient grand compte dans leur navigation côtière; ils lui donnent le nom de Kuro-Sivo ou « fleuve Noir », sans doute à cause du bleu profond de ses eaux. Moins rapide que le Gulf-stream, sa marche est cependant en moyenne de plus de 2 kilomètres à l'heure et dans maint détroit elle dépasse de beaucoup cette vitesse. Au large de Yeddo, sa température moyenne est de 24 degrés centigrades, soit environ 6 à 7 degrés de plus que les eaux en repos qui se trouvent sur ses bords; du reste, le Kuro-Sivo, comme le courant du Golfe, est composé de bandes liquides d'une température inégale, coulant à côté les unes des autres comme deux rivières distinctes dans un même lit.

Déjà, par le travers de la grande île du Japon[1], le fleuve Noir, obéissant à la force d'impulsion que lui a communiquée la rotation de la terre sous les latitudes tropicales, commence à se reployer vers le nord-est, et, s'étalant sur de vastes éten-

1. De Kerhallet, *Considérations sur l'océan Pacifique.*

dues, perd en profondeur ce qu'il gagne en surface. Au nord du Japon, il rencontre obliquement un courant d'eau froide sorti de la mer d'Ochotzk pour remplacer une partie du vide causé par l'évaporation dans les mers équatoriales. D'épaisses brumes, semblables à celles des bas-fonds de Terre-Neuve, reposent au-dessus des parages où s'opère le contact entre les eaux chaudes et les eaux froides; des bancs de poissons, exploités par les pêcheurs, peuplent également la zone maritime qui sert de limite entre les deux courants et où la pâture d'animalcules et de débris apportés des tropiques se joint à celle qu'ont charriée les flots venus du nord. Toutefois les phénomènes qu'offre la rencontre des deux courants n'ont pas la même grandeur dans le Pacifique boréal que sous les latitudes correspondantes de l'Atlantique, car les deux continents d'Asie et d'Amérique sont unis en réalité par un isthme sous-marin : ainsi que l'ont démontré les sondages, il suffirait d'un soulèvement de 120 mètres pour que la Sibérie et le territoire d'Aliaska se rejoignissent par une terre de plus de 1,000 kilomètres de largeur[1]. La masse d'eau qui débouche de la mer d'Ochotzk est relativement peu considérable, et l'ouverture du détroit de Behring, large de 100 kilomètres et profonde de 50 mètres à peine, a de trop faibles dimensions pour laisser pénétrer beaucoup d'eau de l'océan Glacial dans le Pacifique; seulement les petits courants côtiers, portant des pins et des sapins sur les rivages de la Sibérie et des glaçons arrondis le long des deux côtes, se croisent d'une mer à l'autre mer. En été, le courant qui vient du nord, aussi bien sur la rive orientale que sur la rive occidentale du détroit, est un courant superficiel. En revanche, la faible partie des eaux du fleuve Noir qui passe à travers la rangée des îles Aléoutiennes pour entrer dans le détroit de Behring est sous-marine, du moins pendant la saison d'été[2]. Arrivée dans la mer Glaciale, elle se mêle, encore tiède et fortement salée, à l'eau froide et légère qui descend dans l'Atlantique par la mer de Baffin[3].

1. *Mittheilungen von Petermann*, 1869, Pl. XVII.
2. Mühry, *Ueber die Lehre von den Meeresströmungen*, p. 45.
3. De Haven; — Mühry; — Gustave Lambert.

Quant à la grande masse du Kuro-Sivo, elle traverse le Pacifique boréal de l'est à l'ouest par une gracieuse courbe, non moins belle que celle des îles baignées par ses eaux, puis elle s'infléchit graduellement vers le sud-est et vers le sud pour côtoyer les rivages de la Californie; enfin, dans le voisinage des tropiques, elle change encore de direction et va se perdre dans le courant équatorial, en enfermant dans son tourbillon une mer de varech à peine moins grande que celle de l'Atlantique.

Au contraire du courant de Humboldt, qui en roulant des eaux froides et en poussant des montagnes de glace rafraîchit l'atmosphère sèche et brûlante du Pérou, le Gulf-stream des Japonais entraîne le long des côtes de Sitka et de Vancouver des masses liquides réchauffées par un long séjour sous les ardeurs des tropiques, et par ses effluves apporte le printemps à des régions qui sans lui subiraient un hiver très-rigoureux. Il charrie sur ses flots les débris qu'il a reçus sur les côtes des Molluques, des Philippines et du Japon. Aux habitants des Aléoutiennes et d'Aliaska il donne comme bois de chauffage les camphriers et les autres arbres odorants des terres du sud; il sert aussi de grande route aux épaves, il entraîne les navires en détresse, et de nombreuses traditions racontent que des marins japonais, emportés par la dérive, ont abordé malgré eux sur les côtes de l'Amérique. C'est peut-être à une aventure de ce genre que les navigateurs chinois ont dû de trouver le nouveau monde dix siècles avant Colomb, si l'opinion de quelques savants est vraie, d'après laquelle le pays de Fusang, cité dans les annales de la Chine, serait en effet la terre du Mexique et du Guatemala.

IV.

Remous latéraux. — Courant de Rennell. — Contre-courant de la mer des Antilles. — Équilibre des eaux dans la Baltique, au Bosphore, à l'entrée de la Méditerranée et de la mer Rouge. — Échange d'eau et de sel entre les mers.

Aucun de ces grands courants qui tournoient dans les bassins océaniques n'offre par ses contours extérieurs les mêmes sinuosités que la mer où il circule. Tandis que la plupart des rivages présentent dans leur développement une succession de promontoires et de golfes, les courants se déploient suivant de longues courbes régulières et par leur vaste circonférence indiquent seulement la forme générale de la dépression qui les contient. Chaque golfe considérable que des terres avancées séparent de l'Océan reste en dehors du tourbillon des eaux, à moins qu'il ne soit ouvert dans l'axe même du courant, comme la mer des Antilles. Cependant ces parages, dont les masses liquides ne sont pas entraînées dans le mouvement général de circulation, ne restent point parfaitement immobiles : eux aussi ont leur système circulatoire, et c'est presque partout du grand courant maritime que ce remous secondaire reçoit son impulsion.

Un exemple remarquable de ces courants de deuxième ordre se présente à l'ouest de l'Europe, dans le bassin semi-circulaire formé par les côtes de l'Espagne, de la France, de l'Angleterre et de l'Irlande. Une partie des eaux du Gulf-stream venant du nord et du nord-ouest frappe les côtes de la Galice et des Asturies; elle est infléchie à l'est vers le fond du golfe de Gascogne, longe le littoral des Landes, puis celui de la Saintonge, du Poitou, de la Bretagne, et, retournant dans la direction du nord-ouest et de l'ouest, constitue une sorte de barrière liquide en travers du canal de la Manche. Au sud du cap Clear, ce fleuve océanique, connu sous le nom de cou-

rant de Rennell, d'après le savant anglais qui en a découvert l'existence, rentre enfin dans le Gulf-stream et retourne au sud avec les eaux de l'Océan. Ainsi s'achève autour du bassin un circuit complet, analogue à celui qui s'accomplit dans chacun des grands océans du monde. A son tour, le courant de Rennell, longeant à une distance plus ou moins grande le littoral des continents, projette dans les petites baies de la côte des courants de troisième ordre qui accomplissent aussi leur mouvement circulaire, comme le Gulf-stream et le Kuro-Sivo : par des renvois latéraux, la circulation des eaux se continue des océans aux golfes, des golfes aux baies et de celles-ci dans les criques du rivage. Toutefois ces courants secondaires ont moins de régularité que les courants généraux; parfois même des navigateurs ont constaté que le courant du Rennell, complétement renversé, coulait en sens inverse de sa direction normale [1].

Les courants dérivés se meuvent d'ordinaire dans une direction exactement inverse de celle du fleuve principal, dont ils ne sont qu'une branche reployée sur elle-même : soit permanents, soit temporaires, ils se retrouvent d'ailleurs dans toutes les mers ouvertes ou méditerranéennes, dans tous les golfes, toutes les baies de l'Océan. Même la mer des Antilles, dont les eaux sont presque en masse entraînées vers le golfe du Mexique, offre à son extrémité occidentale un courant permanent qui porte des côtes de l'isthme à celles de la Colombie. Une embarcation que le courant principal aurait entraînée en dérive dans les parages du Nicaragua n'aurait ensuite qu'à remonter jusqu'à Colon, puis à s'abandonner aux vagues pour accomplir doucement sa traversée de retour, portée sur les eaux qui se déplacent incessamment dans la direction de Cartagena et de Santa Marta. Nombre de navigateurs paresseux ne voyagent pas autrement des ports de l'Isthme vers ceux de la Côte-Ferme : insoucieux du temps, ils se laissent bercer par le flot sans même se donner la peine de tendre les voiles; leur goëlette, plus lente qu'une tortue de mer, avance au plus d'un

1. Gareis und Becker, *Physiographie des Meeres.*

mille par heure, puis, après huit ou dix jours de traversée, ils aperçoivent enfin les montagnes bleuâtres de la Nouvelle-Grenade et les rives sablonneuses ombragées de cocotiers.

Parmi les courants, il en est qui se produisent évidemment par suite de la rupture d'équilibre entre les niveaux. Ainsi la mer Baltique, recevant plus d'eau par les apports des fleuves qu'elle n'en perd par l'évaporation, doit nécessairement épancher ce trop-plein dans la mer du Nord à travers le détroit du Sund et les deux Belt. Toutefois ces issues étant assez larges et profondes pour déverser en peu de temps la masse d'eau surabondante, le courant de sortie n'est point permanent; fréquemment les flots chassés par le vent d'ouest se portent à sa rencontre, de la mer du Nord à la mer Baltique, et de ce conflit des eaux naissent des mouvements locaux et imprévus redoutables pour les navires : sur quatre jours, les eaux superficielles coulent en moyenne pendant quarante-huit heures vers le Cattegat, elles refluent dans la Baltique pendant un jour, et pendant l'autre jour on ne remarque aucun mouvement sensible dans l'un ou l'autre sens. Souvent aussi, d'après Forchhammer, deux courants contraires glissent au-dessus l'un de l'autre, l'un superficiel et plus léger, venant de la Baltique, l'autre plus lourd à cause du sel qu'il contient et glissant au-dessous; c'est l'eau de la mer du Nord.

A l'autre extrémité de l'Europe, des phénomènes analogues se passent dans le Bosphore, à l'issue de la mer Noire. Ce détroit, qui reçoit les eaux surabondantes du Pont-Euxin, offre en moyenne une largeur de 1,800 mètres et 27 mètres et demi de profondeur[1], de sorte que si les eaux marines y coulaient d'une manière continue comme dans le lit d'un fleuve, et que la vitesse du courant fût seulement de 2 kilomètres à l'heure, il ne débiterait pas moins de 27,500 mètres cubes à la seconde. Or il est probable que tous les affluents réunis de la mer Noire et de la mer d'Azof ne roulent guère plus de la moitié de cette masse, et d'ailleurs une grande partie de l'eau qu'ils apportent est reprise par l'évaporation. Le Bosphore est donc beaucoup

1. Tchihatchef, *Asie Mineure*.

trop grand pour servir de lit à un courant unique s'épanchant de la mer Noire dans la mer de Marmara. Si l'on observe que ses eaux descendent d'ordinaire vers la Méditerranée avec une vitesse de 3, 4 et même 7 kilomètres à l'heure, on y a constaté également l'existence de contre-courants latéraux assez rapides, et parfois les vents qui soufflent de l'ouest font refluer le courant principal dans le détroit; il existe aussi un mouvement sous-marin des eaux dans la direction de la mer Noire, ainsi que déjà au siècle dernier l'établissait Marsigli.

A l'ouest de la Méditerranée, entre Gibraltar et Ceuta, le courant normal est celui qui vient de l'Océan. En effet, la Méditerranée est pauvre en tributaires considérables; elle ne reçoit qu'un seul fleuve vraiment grand par la masse de ses eaux, le Danube, et ses autres affluents d'une certaine importance, le Rhône, le Pô, le Dniestr, le Dniepr, le Don, le Nil, ne lui apportent certainement pas en moyenne plus de 15,000 mètres cubes d'eau par seconde[1]. En revanche, l'évaporation est très-active dans le bassin de la Méditerranée, notamment sur les côtes méridionales de l'Égypte et de la Tripolitaine. On peut admettre que la quantité d'eau enlevée à ce bassin par les rayons solaires et non restituée directement par les pluies représente une tranche annuelle d'un mètre et demi, ce qui est probablement assez rapproché de la vérité, car dans les environs de Gênes, de Beaucaire, d'Arles, de Perpignan, sur les rivages septentrionaux de la mer, l'évaporation dépasse 1 centimètre par jour dans les grandes chaleurs et 60 centimètres pendant les trois mois d'été[2], tandis que pour toute l'année l'ensemble des pluies est évalué à 50 centimètres. Il en résulterait que la Méditerranée perd constamment trois fois plus d'eau qu'elle n'en reçoit par ses tributaires. C'est à l'Océan de combler le vide. Une partie du courant qui longe du nord au sud les côtes du Portugal et de l'Espagne entre par le détroit de Gibraltar, puis s'étale au loin sur la Méditerranée en nappes superficielles. Toutefois, si cette mer intérieure n'envoyait pas aussi un contre-courant à l'Atlantique, elle se chan-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.
2. Régy, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1863. — Vigan, *id.*, 1866.

gerait tôt ou tard en une immense plaine de sel. Perdant incessamment de l'eau douce par l'évaporation, et recevant de l'eau salée par les apports de l'Océan, sa masse liquide deviendrait à la fin tout à fait saturée, et les cristaux de sel

DÉTROIT DE GIBRALTAR.

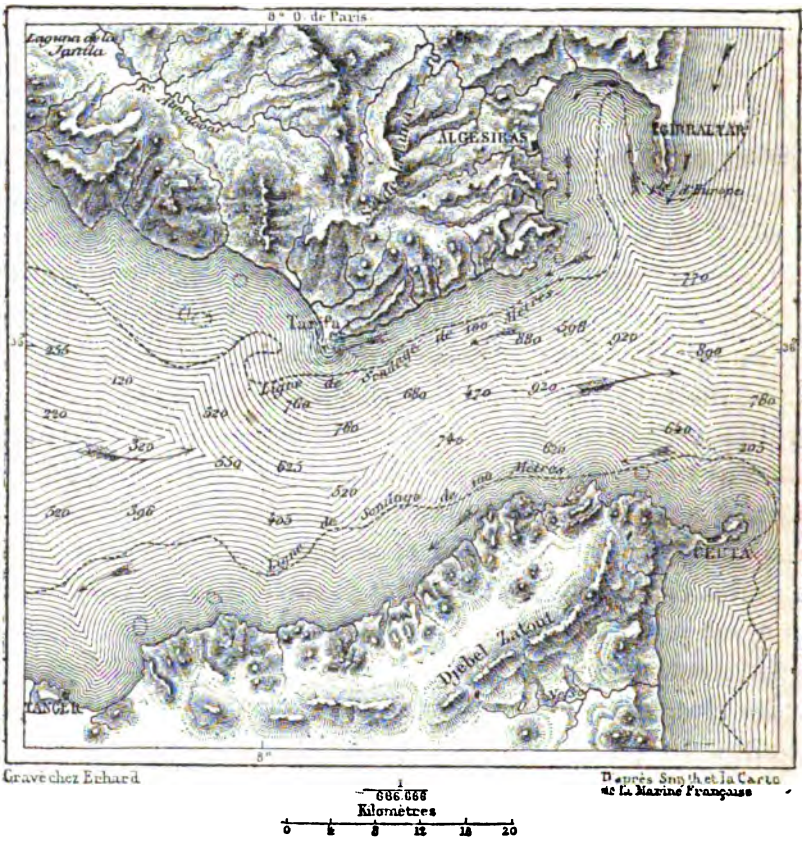


Fig. 25.

tapisseraient le lit marin en couches de plus en plus épaisses. Pour que l'équilibre de salure ne soit pas ainsi rompu entre les deux mers, il faut que la Méditerranée envoie à l'Atlantique ses eaux les plus salées. C'est en effet ce qui a eu lieu. Des remous latéraux se produisent le long des rivages, de chaque côté du courant venu de l'Atlantique; en outre, d'après l'opinion générale des marins, contestée cependant

par quelques géographes[1], un contre-courant méditerranéen glisse au-dessous des eaux superficielles plus légères et se dirige vers l'Océan. Ainsi s'accomplit un échange dans ce passage étroit de Gibraltar : l'Atlantique donne à la Méditerranée l'eau dont elle a besoin, et la mer rend à l'Océan le

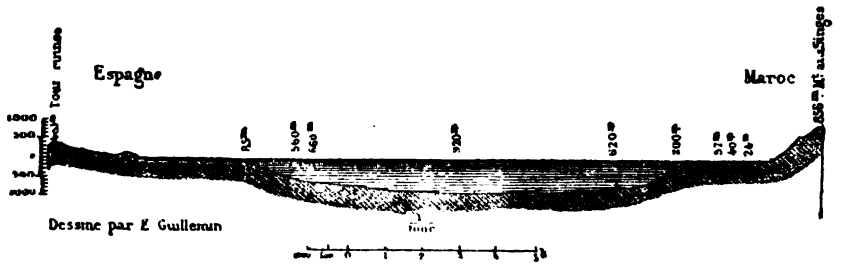


Fig. 26. — Profil du détroit de Gibraltar.

sel qu'elle a de trop; l'égalité incessamment troublée travaille sans cesse à se rétablir par-dessus le seuil qui sépare les deux mers, à près de 1,000 mètres de profondeur. Peut-être aussi, suivant l'opinion émise déjà au siècle dernier par Montanari, le courant normal de la Méditerranée ferait-il complétement le tour de la mer en suivant de l'ouest à l'est les côtes d'Afrique pour revenir le long des côtes d'Europe.

Cette harmonie des forces de la nature se montre d'une manière bien plus saisissante encore à l'entrée de la mer Rouge. Ce golfe allongé, qui n'a pas moins de 2,300 kilomètres, du détroit de Bad-el-Mandeb à Suez, reçoit de l'atmosphère et des contrées riveraines une quantité d'eau tellement faible, qu'on peut la considérer comme nulle. Il ne pleut que très-rarement sur cette nappe liquide projetée entre les deux déserts d'Égypte et d'Arabie, et pas un seul torrent permanent ne s'y déverse. La mer Rouge n'est donc qu'un immense bassin d'évaporation, et la perte annuelle est d'autant plus

1. Klein, Gareis, Becker, etc. Ces divers savants considèrent comme physiquement impossible l'histoire si souvent racontée d'un navire qui, après avoir coulé au large de Ceuta, aurait reparu beaucoup plus à l'ouest, le lendemain, poussé vers l'Atlantique par un courant inférieur. Pareil phénomène, qui d'ailleurs ne repose point sur un témoignage sérieux, serait un prodige inexplicable.

grande que les rayons du soleil brillent presque toujours dans un ciel sans nuages. C'est à 20 millimètres par 24 heures, soit à plus de 7 mètres par an, que l'on évalue la tranche liquide transformée en vapeur, de sorte que si le golfe était complétement fermé, son eau, dont la profondeur moyenne ne dépasse point 400 mètres, serait desséchée en entier dans l'espace de soixante ans. Grâce à la supériorité de leur niveau, les flots de l'océan Indien sont donc entraînés dans la mer d'Arabie par le détroit de Bad-el-Mandeb, et ce flux, superficiel ou sous-marin, doit se faire sentir avec d'autant plus de force que pendant huit mois de l'année les vents soufflent du nord au sud, précisément dans l'axe de la mer Rouge, et tendraient ainsi à vider le golfe si les lois de pesanteur le permettaient. Mais, quelle que soit la vitesse du courant d'appel venu de la mer des Indes, une partie de ses eaux s'évapore en route, et par suite la masse liquide, diminuée d'une certaine quantité par l'évaporation, doit devenir de plus en plus salée à mesure qu'elle s'avance vers le nord. On a constaté en effet, par des analyses directes, que d'Aden à Suez la quantité de sel contenue dans un même volume d'eau augmente graduellement : d'un peu plus de 39 parties sur 1,000 à l'entrée du golfe, elle s'élève à 41 et même à 43 parties sur 1,000 à l'extrémité septentrionale[1]. Un savant de Bombay, le docteur Buist, a calculé que si la mer Rouge ne rendait pas à l'Océan le sel qui s'y concentre par suite de l'évaporation, elle finirait par être changée en une masse solide de sel dans un espace de temps certainement moindre de trois mille années, et peut-être de quinze ou vingt siècles seulement[2]. Or voilà bien des mille et des mille ans que la mer Rouge existe, et ses eaux, plus salées que celles des autres mers, il est vrai, sont encore bien loin de se trouver à l'état de saturation. On arrive donc à cette inévitable conclusion, qu'un courant sous-marin d'eau très-salée s'épanche par le détroit de Bad-el-Mandeb dans l'océan des Indes en glissant au-dessous et en sens inverse du cou-

1. Voir, ci-dessus, p. 29.
2. Maury, *Geography of the Sea.*

rant superficiel qui alimente le golfe Arabique. De même que dans les maisons, chaque porte sert à la fois de passage à deux courants contraires, celui de l'air plus chaud et plus léger qui s'échappe par en haut, et celui de l'air plus froid et plus lourd qui pénètre par en bas, de même dans les mers, chaque détroit est parcouru de deux fleuves liquides, différents en température et en teneur saline.

Tous ces phénomènes d'échange qui s'accomplissent d'une manière si frappante à l'entrée de la mer Rouge, de la Méditerranée, de la Baltique, se reproduisent dans l'immensité des mers, partout où l'équilibre de niveau, de chaleur ou de salure est troublé par une cause quelconque. Ainsi l'Atlantique, bien mieux partagé que la mer du Sud sous le rapport des pluies et des affluents, n'est pourtant pas plus élevé; de son côté, le Pacifique ne renferme pas une quantité de sel plus considérable que les autres océans : sur toutes les parties de la planète, les mers baignant les terres les plus diverses d'aspect et de formation géologique tendent à se ressembler par la composition, la salure et la plupart des phénomènes de leurs eaux. Les courants sont les grands agents de cet équilibre des mers ; mais par leur mobilité même, par leur dépendance des saisons, des vents, de la configuration des côtes, enfin par la partie sous-marine de leur cours, ils sont très-difficiles à observer d'une manière systématique, et parmi les nombreux courants généraux et partiels, il n'en est pas un seul, pas même le Gulf-stream, dont on puisse tracer le cours normal avec une précision complète. Heureusement, les observations scientifiques se multiplient sur tous les points des mers; elles s'ajoutent, se lient les unes aux autres, et rapprochent peu à peu de la vérité les approximations qui ressortent de la comparaison des faits. Tout nouveau coup de sonde, toute lecture thermométrique nouvelle est une acquisition de la science, et permet de suivre d'un regard plus clair la circulation si complexe des eaux dans l'immense labyrinthe de l'Océan.

CHAPITRE III.

LES MARÉES.

I.

Oscillations du niveau des mers. — Théorie des marées.

Un autre mouvement tient les eaux de la mer dans une agitation constante : c'est celui des marées. Tandis que les courants promènent les flots d'un pôle à l'autre pôle et remuent la masse même de l'Océan, les marées en modifient incessamment le niveau par les alternatives de flux et de reflux qu'elles donnent aux eaux ; elles élèvent ou dépriment sans relâche l'ensemble des ondes sur tous les rivages du globe ; la plage qu'elles envahissent et découvrent tour à tour devient un terrain indécis entre les deux éléments et fait successivement partie du bassin océanique et du relief continental. Deux fois par jour, de vastes plaines de sable, comme celle du mont Saint-Michel, sont envahies par les vagues, des baies profondes se forment au loin dans les terres, des barques glissent à pleines voiles au-dessus du sentier que vient de quitter le piéton. Deux fois par jour, la même vague de marée fait retourner en arrière les eaux que lui apportent les continents, transforme en grands fleuves de simples ruisselets, change en vastes ports intérieurs des bassins remplis de vase, et porte des flottes de navires au-dessus des bancs de sable et des écueils cachés. Six heures après, tout est changé de nouveau. Les ports de marée sont parsemés de navires à sec et couchés dans la boue, les bouches des fleuves laissent émerger leurs îles d'alluvions, les grandes baies ne sont plus que

des plaines de sable. Ainsi le pourtour des continents change constamment d'aspect; la ceinture des estuaires et des ports, des plages, des écueils et des bancs de sable qui environne les côtes ne cesse de se modifier et de changer dans la même mesure la géographie des rivages. En outre, des mouvements aussi considérables ne peuvent se produire sans être accompagnés de courants d'une grande puissance, qui se portent alternativement de la haute mer vers le littoral et du littoral vers la haute mer, et contribuent pour une très-forte part à la circulation générale et au mélange des eaux dans l'Océan. Quant à l'influence que le va-et-vient des marées exerce indirectement sur le commerce et la civilisation des peuples, elle est immense; c'est à ces mouvements de la mer que l'Angleterre doit en grande partie sa puissance et sa gloire.

De tout temps les populations des bords de l'Océan ont compris, sans pouvoir s'en rendre compte, que les phénomènes alternatifs du flux et du reflux dépendent de la position de la lune et du soleil relativement à la terre: les coïncidences qu'ils voyaient se renouveler chaque jour entre les mouvements des marées et ceux des grands astres ne pouvaient leur laisser aucun doute à cet égard. Les marins et pêcheurs, habitués à regarder le ciel pour y chercher les signes du temps et les indices de la route qu'il leur fallait suivre, n'avaient pas de peine à constater que le retour de chaque deuxième marée correspond exactement au passage de la lune sur un même degré du ciel, c'est-à-dire au commencement d'un nouveau jour lunaire; suivant les transformations de la figure de l'astre, en croissant, en quartier, en disque, ils voyaient les marées changer d'une manière régulière et devenir successivement de plus en plus fortes, pour se calmer ensuite de jour en jour jusqu'à la fin du mois lunaire; enfin les mouvements du soleil leur annonçaient aussi d'avance l'état prochain du flot, car l'équinoxe de mars et l'équinoxe de septembre sont toujours accompagnés de très-fortes marées. Ces coïncidences entre les phénomènes de la mer et les mouvements de la lune et du soleil sont tellement frappantes, que toutes les populations barbares des

rivages les ont remarquées et en ont donné grossièrement la théorie dans leurs chants symboliques. Ainsi les *sagas* scandinaves représentent Thor, le dieu des forces aériennes, aspirant l'eau d'une corne qui plonge dans les profondeurs de l'Océan, et, de sa puissante haleine, soulevant les flots et les laissant retomber tour à tour. Que signifie cette bizarre légende, sinon que les oscillations régulières de la marée dépendent des forces cosmiques auxquelles la planète elle-même est soumise?

Toutefois il y a loin de ces récits symboliques des anciens Scandinaves à la théorie scientifique des marées, telle que l'ont établie les recherches et la sagacité des Newton et des Laplace. Même Pline, lorsqu'il affirmait nettement que les marées sont dues « à l'influence combinée du soleil et de la lune », se bornait à résumer en termes précis ce que savaient tous les habitants des bords de l'Océan; mais il n'aurait pu exposer de quelle manière s'exerce cette influence. L'explication de ce mystérieux phénomène du gonflement périodique des flots ne pouvait être tentée que dans les temps modernes à l'aide des connaissances obtenues par les astronomes sur la marche des corps célestes et des puissants moyens d'investigation que leur ont fournis les mathématiques. Kepler, le premier, indiqua la marche à suivre, et Descartes, puis Newton donnèrent chacun sa théorie en expliquant les marées, l'un par la pression, l'autre par l'attraction qu'exerceraient le soleil et la lune sur les eaux mobiles de la mer. C'est la dernière théorie, celle de Newton, que développèrent plus tard, en la modifiant fortement, Bernouilli, Euler, Laplace, et que Lubbock, Whewell, Chazallon et tant d'autres physiciens ont comparée depuis avec les faits sur les rivages de l'Océan. Elle est aujourd'hui généralement acceptée; mais elle trouve encore des contradicteurs éminents, parmi lesquels il faut citer F. de Boucheporn[1]; nombre de faits secondaires sont toujours à élucider, bien des phénomènes locaux sont encore incompris. C'est que pour suivre les marées dans leurs

1. *Philosophie naturelle*, p. 170-205.

voyages et leurs fluctuations à travers les mers, il ne suffit pas de connaître les lois de la gravitation et de calculer avec la précision la plus rigoureuse la marche et la position des astres, il faut aussi connaître tous les faits relatifs aux mouvements des fluides et savoir appliquer à tous leurs phénomènes d'accélération, de retard, de croisement, d'interférence, d'équilibre, les formules les plus compliquées et les plus minutieuses des hautes mathématiques; enfin il serait indispensable de ne rien ignorer quant à la forme des rivages et aux inégalités du fond de la mer.

Réduite à ses éléments principaux, la théorie des marées exposée par Laplace et depuis admise par les géomètres, est fort simple. La terre n'est point un corps isolé dans l'espace;

Fig. 27. — Marée lunaire [1].

elle est attirée par tous les astres avoisinants, et c'est même en grande partie cette force d'attraction qui la fait tournoyer autour du soleil et qui lui donne la lune pour satellite. Que l'on s'imagine un instant la terre entièrement couverte d'eau sur toute sa rondeur et soumise à la seule attraction de la lune. La partie superficielle de la planète sera plus fortement attirée que le noyau central, puisqu'elle est plus rapprochée

1. Cette gravure, ainsi que les figures 28, 29 et 30, ont été empruntées au bel ouvrage de M. Amédée Guillemin, intitulé *le Ciel*.

de l'astre qui la sollicite, et, grâce à la facilité avec laquelle ses molécules liquides glissent les unes sur les autres, elle se gonflera, pour ainsi dire, vers la lune jusqu'à ce que son poids fasse équilibre à la force qui l'entraîne. Il se formera donc une intumescence, dont le sommet se trouvera exactement sur la ligne idéale qui réunit le centre de la terre à celui de la lune. De l'autre côté de la planète, suivant la théorie générale, les eaux doivent se renfler en une vague correspondante, et cela par une cause précisément inverse. Les couches liquides de cette partie de la terre, étant plus éloignées de la lune que le noyau solide, sont moins attirées que celui-ci, et par suite elles doivent rester légèrement en arrière, formant ainsi une nouvelle intumescence, dont le sommet se trouve sur le prolongement de la ligne qui rejoindrait la planète à son satellite. Considérée dans son ensemble, la masse des eaux marines prend donc la forme d'un ellipsoïde ayant son grand axe dirigé vers la lune, qui est le centre d'attraction. Il en résulte que la marée doit être nulle ou très-faible aux pôles, puisque, dans son mouvement de révolution, la lune, tout en se déplaçant au nord et au sud de l'équateur, se maintient au zénith des régions tropicales ou subtropicales.

Si la terre restait immobile, ces deux vagues opposées chemineraient lentement suivant la marche de la lune; mais par suite de la rotation du globe, elles doivent se déplacer et se poursuivre avec rapidité sur la rondeur terrestre, la vague de plus grande attraction se mouvant sans cesse sur la partie éclairée par les rayons de la lune, tandis que la vague de plus faible attraction se propage de l'autre côté de la terre sur la partie la plus éloignée du satellite. Dans l'espace d'un jour lunaire, c'est-à-dire pendant les 24 heures 50 minutes durant lesquelles la terre a successivement présenté toutes les parties de sa surface à l'astre qui l'accompagne, les deux vagues doivent accomplir chacune un circuit complet autour de la planète, et chacune doit avoir une durée totale de 12 heures 25 minutes. C'est, en effet, ce qui a lieu dans toute l'étendue des mers. Quant aux irrégularités nombreuses qu'offre le phénomène dans sa hauteur et l'instant précis de son appa-

rition, elles dépendent des obstacles de toute sorte que les écueils, les îles, les continents, les courants océaniques et les vents apportent à la libre circulation des eaux.

Toutefois la lune n'est pas le seul astre dont l'attraction

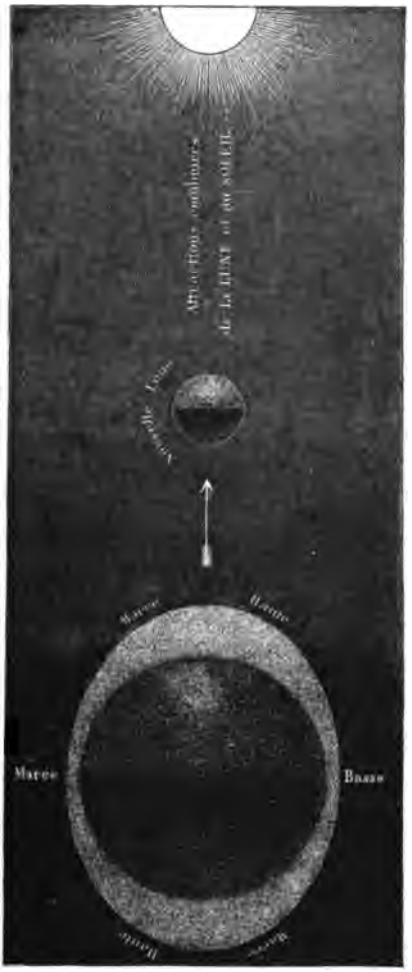


Fig. 28. — Marée de syzygie, lors de la nouvelle lune.

se manifeste d'une manière sensible sur les flots de l'Océan. Le soleil, qui entraîne la lune dans son orbe à travers les cieux, est assez rapproché de sa planète pour en soulever aussi les molécules liquides. L'attraction exercée par le soleil sur la terre est même cent soixante-deux fois plus

grande que l'attraction totale de la lune, et, par conséquent, elle redresserait les marées en de véritables montagnes, hautes comme les Cévennes, si la vraie cause du flux ne se trouvait pas dans la différence d'attraction exercée sur les

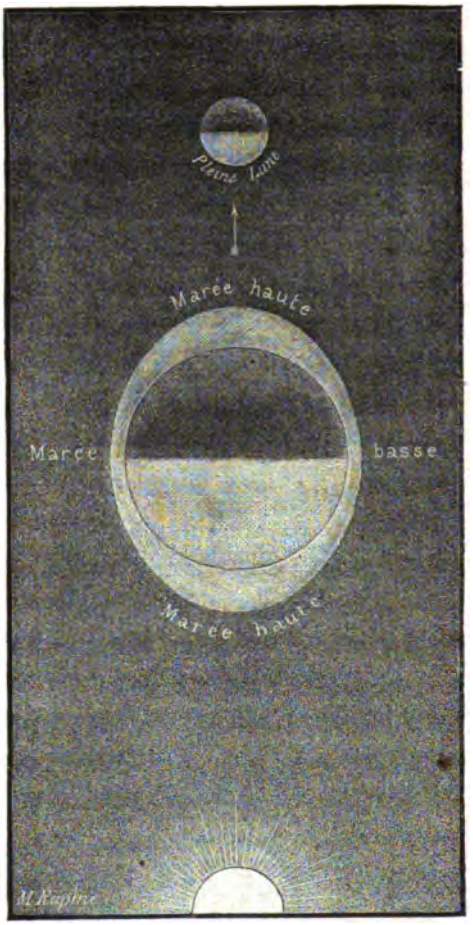


Fig. 29. — Marée de syzygie, lors de la pleine lune.

molécules aqueuses des diverses parties de la terre. La distance de la lune étant égale à soixante rayons terrestres seulement, l'action du satellite est beaucoup plus forte sur les régions océaniques rapprochées que sur les eaux situées à des milliers de kilomètres plus loin; le soleil, au contraire, agit presque de la même manière sur les molécules aqueuses de toute la surface des mers. D'après les résultats obtenus

par les calculs des mathématiciens la force attractive du soleil est à celle de la lune, pour le soulèvement des flots, dans la proportion d'environ un tiers.

Deux vagues de marée, la vague lunaire et la vague solaire, se gonflent donc à la surface de l'Océan. Elles devraient tourner, l'une dans l'espace de 24 heures 50 minutes, l'autre pendant 24 heures; mais ces deux flots d'origine distincte ne se séparent point dans leur marche autour du globe : grâce à l'incessante mobilité des eaux, ils se mêlent, se confondent, et, dans leur masse commune, le calcul seul peut discerner la part qui revient à chacun des deux astres. Ensemble les deux intumescences unies se déplacent autour de la terre dans la direction de l'est à l'ouest, c'est-à-dire en sens inverse du mouvement de rotation du globe. Servant ainsi de frein à la planète, elles doivent à la longue amener ce ralentissement que les calculs et les déductions de Meyer, Tyndall, Joule, Adams, Delaunay, font considérer comme inévitable[1].

Quand la lune dite nouvelle tourne vers nous sa face obscure, et se trouve ainsi à peu près dans la même direction que le soleil relativement à la terre, les attractions des deux grands corps célestes s'ajoutent l'une à l'autre, et les deux vagues de marées, soulevées à la fois vers le même point de l'espace, se superposent exactement : elles forment ces marées de syzygie ou de vives eaux, appelées aussi « malines » ou « reverdies, » qui se dressent à de si grandes hauteurs sur les rivages. Lors de la pleine lune, c'est-à-dire lorsque l'astre, éclairé en entier, est en opposition directe avec le soleil, il se forme de nouvelles marées de syzygie, non moins élevées que les premières, car sous l'action des astres situés en face l'un de l'autre, une intumescence se produit à la fois des deux côtés de la terre. Pendant les autres phases de la lune, la coïncidence n'existe plus : lors des quadratures, les deux grands mouvements de l'onde se contrarient, et le flot de marée, qui représente alors la vague lunaire diminuée de

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *la Terre dans l'Espace*.

toute la hauteur de la vague solaire, est moins élevé que pendant les autres phases de la lune. Si les deux forces d'attraction étaient d'égale puissance, la neutralisation de la marée serait complète et le niveau de la mer resterait immobile.

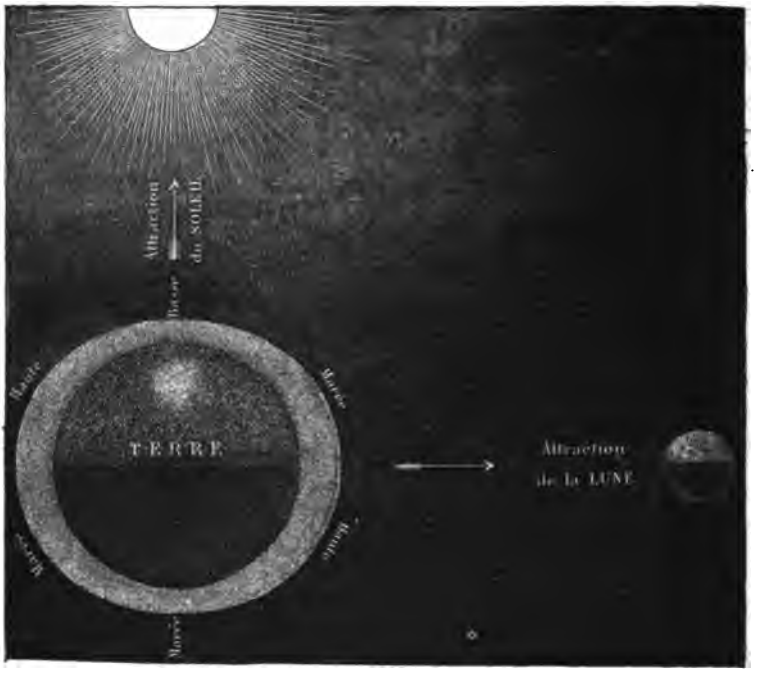


Fig. 30. — Marée de quadrature.

Afin de donner une idée des fluctuations qui s'opèrent pendant le cours d'une marée entière sous l'influence des astres, et que modifient diversement les courants atmosphériques, la forme des côtes et les inégalités du fond marin, nous empruntons à Beardmore la figure de la page suivante.

Les périodes des marées sont donc exactement celles des astres qui les soulèvent. La période semi-diurne ou de 12 heures 25 minutes est comprise entre les deux passages de la lune aux méridiens opposés de chaque côté de la terre. La période diurne, pendant laquelle l'Océan se gonfle et s'abaisse deux fois, correspond exactement à la durée d'une rotation apparente du satellite autour de notre planète. Même coïncidence pour la période semi-mensuelle : le retour des

malines s'opère de deux semaines en deux semaines avec le retour de la pleine ou de la nouvelle lune, et la période mensuelle s'achève lorsque recommence la série des phases lunaires. Ce n'est pas tout : les marées ont aussi leur période

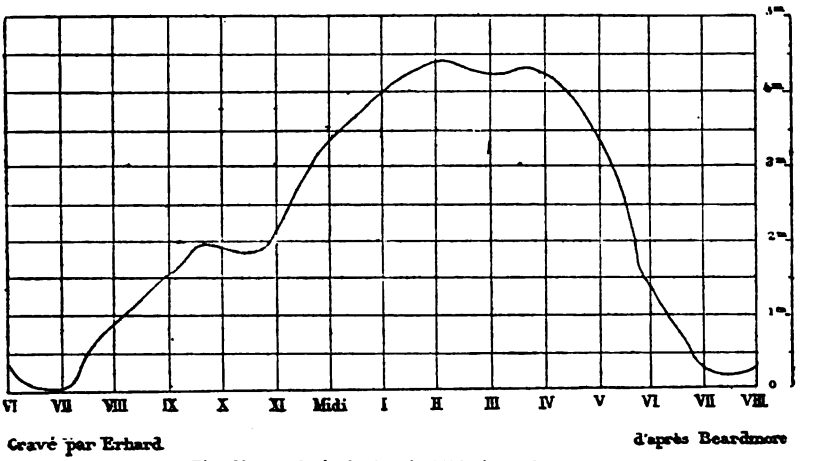


Fig. 31. — Marée du 2 août 1859, à Southampton.

semi-annuelle, lors de l'équinoxe de mars et de l'équinoxe de septembre, car le soleil, se trouvant alors directement au-dessus de l'équateur terrestre, exerce une attraction plus forte sur les masses liquides, et les flots de vives eaux se redressent à une plus grande hauteur que d'habitude. Enfin la période annuelle est marquée pour les marées par l'époque où la terre est le plus rapprochée du soleil et subit par conséquent une plus grande attraction : cette époque tombe pendant l'hiver de l'hémisphère septentrional, et c'est alors en effet que les malines s'élèvent avec le plus de force sur les côtes de nos continents.

Ainsi les phénomènes des marées sont liés aux mouvements célestes, et tout changement dans la position relative des astres qui attirent notre planète se manifeste par un changement correspondant dans le niveau des mers. Connaissant d'avance le chemin que la terre suit dans l'espace, les astronomes prévoient par cela même les oscillations futures du flot et peuvent en tracer la courbe pour les siècles à venir. Cependant, il faut l'avouer, cette courbe n'est vraie qu'en théorie,

car si les marées sont, par l'origine, des faits de l'ordre astronomique, ce sont aussi des phénomènes terrestres; comme les vents, les courants et toutes les autres manifestations de la vie planétaire, ils offrent des variations incessantes et sont pour ainsi dire dans une genèse continue.

II.

Théorie de Whewell sur la naissance et la propagation des vagues de marée. — Naissance de la marée dans chaque bassin océanique. — Établissement des ports. — Lignes « cotidales. »

Le physicien anglais Whewell, qui, pendant de longues années, a fait de laborieuses recherches sur les phénomènes du flux et du reflux de la mer, a donné le nom de « berceau des marées » à la grande nappe continue des eaux qui recouvre presque toute la surface de l'hémisphère austral. C'est dans ce vaste bassin, dont tous les autres océans sont de simples ramifications, que l'attraction combinée du soleil et de la lune soulèverait ce flot qui de rivage en rivage va se heurter sur les côtes du Groenland et de la Scandinavie. C'est là que l'eau, peu d'instants après le passage de la lune au méridien, atteindrait elle-même son niveau de plus grande élévation et formerait cette première intumescence régulatrice, à laquelle la surface de toutes les mers obéirait de proche en proche, de même qu'une corde, secouée à l'une de ses extrémités, oscille jusqu'à l'autre bout en vibrations rhythmiques.

D'après cette théorie, la vague de marée circule incessamment dans toute l'étendue de l'océan Antarctique, au sud des trois pointes continentales de l'Australie et de l'Amérique du Sud : elle suit de l'est à l'ouest le cours apparent de la lune et décrit ainsi autour de la terre une véritable orbite, semblable à celle des astres. Même dans le Pacifique central et dans l'océan des Indes, la marée obéit à cette impulsion nor-

male vers l'ouest : c'est à peu près simultanément qu'elle frappe les rivages de l'Australie et de la Nouvelle-Guinée; puis, treize ou quatorze heures après, elle vient se heurter à la côte orientale de l'Afrique, du banc des Aiguilles au cap Guardafui; enfin, sept ou huit heures plus tard, le littoral de l'Amérique du Sud est frappé à son tour, de la Terre-de-Feu à l'estuaire de la Plata.

Au nord de ces larges étendues océaniques des mers du Sud, les marées, ne trouvant pas les mêmes facilités pour se développer d'une manière normale, seraient obligées de changer de direction; mais, en dépit de cette déviation, elles n'en continueraient pas moins, pense Whewell, l'intumescence primitive. Arrêtée par le continent américain qui lui barre le passage, la vague de marée se reploierait vers le nord et suivrait les contours de la vallée océanique comme un torrent encaissé dans une gorge de montagnes. Frappant à la même heure, et sous un angle également oblique, les côtes de l'Amérique et celles de l'ancien monde qui se trouvent sous les mêmes latitudes, c'est à peu près simultanément qu'elle atteindrait, de chaque côté de l'Atlantique, le canal d'Irlande et la baie de Fundy, où l'on observe sa plus haute élévation connue. La vague de marée accomplirait ce trajet de 10 mille kilomètres, du cap de Bonne-Espérance aux îles Britanniques, en quinze heures environ; mais le voyage tout entier depuis le centre de l'océan Antarctique aurait duré plus d'un jour, et par suite du retard graduel des eaux sur les rivages de la Grande-Bretagne, c'est après deux jours et demi seulement que le flot de marée atteindrait l'embouchure de la Tamise. Ainsi la lune aurait eu le temps de soulever cinq marées consécutives dans l'océan Pacifique avant que le mouvement de la masse liquide se fût propagé jusqu'à l'entrée de la mer du Nord.

Telle est la théorie que les travaux de Whewell ont longtemps fait considérer comme l'expression même de la vérité. Toutefois il n'est pas certain que les choses se passent ainsi. En effet, on constate que, dans chaque bassin océanique, la marée semble partir du centre et se propager dans tous les

sens parallèlement à la direction générale des côtes. On peut en conclure tout naturellement que chaque grande division de l'Océan, considérée comme une mer isolée, est vraiment le berceau des marées qui vont se heurter sur les rivages environnants. Ce qui confirme d'ailleurs cette idée, qui paraît si probable au premier abord, c'est que les divers océans sont séparés les uns des autres par des espaces où la marée régulière est à peine sensible. Ainsi, entre l'Atlantique austral et l'Atlantique boréal, que limitent nettement les promontoires de Saint-Roch et du cap Vert, il existe une large zone où le flux ne change guère le niveau maritime de plus de 60 à 70 centimètres, comme à l'île de l'Ascension et à Sainte-Hélène. D'ailleurs, d'après la théorie de Whewell, c'est du sud au nord que devrait, semble-t-il, se propager le flot sur les côtes de la république Argentine et du Brésil; or, tout au contraire, le mouvement se propage du nord au sud, de Pernambuco à l'embouchure de la Plata[1]. En voyant une vague de marée se redresser au large du banc du Terre-Neuve, dans la partie la plus profonde de l'Atlantique boréal, il n'est donc pas nécessaire de considérer cette onde comme le même flot qui, douze heures auparavant, s'était exhaussé près du banc des Aiguilles, à l'entrée de l'Atlantique du Sud; il vaut peut-être mieux regarder les oscillations qui se produisent en même temps dans les deux hémisphères comme des phénomènes coïncidents, indépendants les uns des autres.

Néanmoins, dans chaque bassin isolé les mouvements de la mer sont bien tels que Whewell les a décrits. Sur les côtes de France et des îles Britanniques, la marée arrive certainement du large, et dans sa marche le long des rivages retarde incessamment sur le mouvement initial qu'a produit au milieu de la haute mer l'attraction du soleil et de la lune. En pénétrant dans les mers peu profondes qui entourent les deux îles de l'Irlande et de la Grande-Bretagne, la vague de marée se ralentit graduellement. Après avoir frappé le cap Clear et le promontoire de Land's end, elle se

1. Fitz-Roy, *Adventure and Beagle*, Appendice au deuxième volume.

propage avec une telle lenteur autour des deux îles, qu'il lui faut encore dix-neuf heures pour arriver non loin du Pas-de-Calais, où elle rencontre une autre vague, plus jeune de douze heures, venue par le chemin plus court de la Manche; en tout, elle est en retard de soixante heures sur le mouvement qui lui a donné l'impulsion première. Dans toutes les mers le retard dépasse au moins douze heures, mais nulle part il n'atteint trois jours[1]. D'où provient ce ralentissement du flot? Les recherches des astronomes et des physiciens nous l'apprennent. La rapidité de la vague de marée est proportionnée à la profondeur de l'Océan : sollicitée par une force égale, une roue tourne d'autant plus vite que son diamètre est plus considérable; de même la marée précipite ou ralentit son mouvement suivant l'épaisseur de la masse d'eau qu'elle parcourt. Dans les parages où le fond de l'Océan est à 8,000 mètres de la surface, la vitesse de la vague est de 850 kilomètres à l'heure; là où la profondeur est seulement de 100 mètres, la marée ne se propage plus que de 96 kilomètres dans le même espace de temps; enfin, quand le fond est à 10 mètres au-dessous du niveau marin, le mouvement des eaux est tout à fait ralenti et ne dépasse pas 25 kilomètres à l'heure, soit 416 mètres par minute.

Par suite du retard qu'éprouve la vague de marée, *l'établissement*, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre le passage de la lune au méridien et le moment de la pleine mer, varie singulièrement dans les différents ports situés à proximité les uns des autres. A Gibraltar il y a d'ordinaire coïncidence entre l'heure du flot et celle d'une traversée du méridien par l'astre, et l'établissement se réduit par conséquent à zéro, tandis que cet intervalle est d'environ une heure quinze minutes dans le port de Cadix, et de quatre heures à Lisbonne. A Bayonne, comme à Lorient, il est de trois heures trente minutes; à l'embouchure de la Gironde et à Cherbourg, il est de sept heures quarante minutes; au Havre, de neuf heures quinze minutes; à Dieppe, de dix heures quarante

1. W. Thomson, *Société géologique de Glasgow.*

minutes; à Dunkerque, de onze heures quarante-cinq minutes. L'établissement varie sur tous les rivages, suivant la

LIGNES COTIDALES DES ILES BRITANNIQUES.

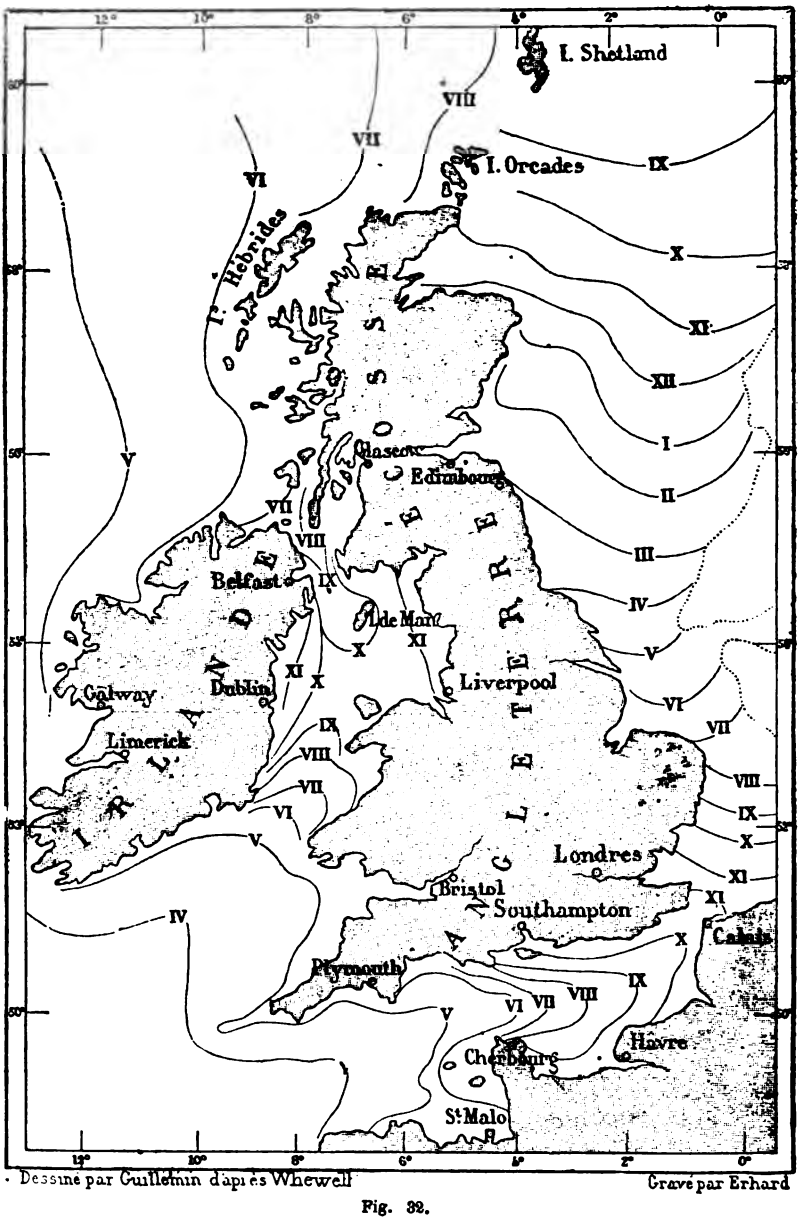


Fig. 32.

vitesse de propagation de la marée à travers les mers ouvertes, dans les golfes et les estuaires.

La ligne sinueuse qui réunit tous les points de l'Océan où la pleine mer se produit exactement à la même heure a reçu de Whewell le nom de ligne *cotidale* ou *isorachique;* elle indique la courbe que forme à un moment précis la crête du flot de marée à la surface des eaux. C'est autour des îles Britanniques surtout que ces lignes d'intumescence simultanée ou d'égal établissement ont été tracées avec soin. Par le calcul et l'observation directe, on est parvenu à reconnaître sur l'étendue mobile et presque toujours agitée de la mer la part d'oscillation qui revient aux phénomènes du flux et du reflux; on est arrivé à dresser de ces gonflements et de ces dépressions invisibles en pleine mer des cartes beaucoup plus exactes que celles de vastes régions continentales encore peu connues. Grâce aux travaux de Whewell, d'Airy, de Lubbock, de Beechey, on peut suivre désormais toute la série des lignes cotidales qui se succèdent d'heure en heure autour des deux grandes îles, depuis la crête venue du large, qui se développe à l'entrée de la Manche et du canal d'Irlande, quatre heures après le passage de la lune au méridien jusqu'à l'intumescence, de dix-neuf heures plus tardive, qui se recourbe au sud de la mer d'Allemagne pour pénétrer dans l'entonnoir du Pas-de-Calais, et qui s'y rencontre avec une autre vague de marée venue directement par la Manche. La forme générale de ces courbes démontre d'une manière frappante que la vitesse de propagation des marées est en raison de la profondeur des mers. Partout on voit les lignes cotidales développer leur partie convexe au-dessus des vallées les plus creuses du lit marin; partout on voit le flot retarder son mouvement dans le voisinage des bas-fonds, des écueils et des rivages. On pourrait même, à l'inspection de ces lignes d'égale intumescence, indiquer exactement les parages où la sonde descend le plus bas, tant les rapports de cause à effet sont intimes entre la profondeur de la mer et la marche du flux.

III.

Irrégularités apparentes des marées. — Amplitude extraordinaire du flot dans certaines baies. — Interférence du flux et du reflux. — Marées diurnes. — Inégalités entre les marées successives.

Innombrables sont les irrégularités apparentes qui se produisent dans les phénomènes de la marée par suite des inégalités du relief sous-marin, des mille indentations du rivage, des alternatives des vents et des courants. Bien que la cause du mouvement soit la même partout, cependant on peut dire que sur aucun point de la mer le flux et le reflux n'offrent une coïncidence parfaite dans leurs allures : chaque promontoire, chaque îlot, chaque rocher est baigné par des eaux ayant un régime distinct dans la propagation de leurs marées; tout obstacle qui rompt le cours régulier des oscillations modifie l'ensemble des gracieuses courbes qui se replient autour de lui. Les figures suivantes, empruntées à

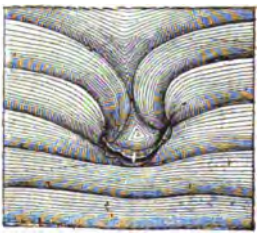


Fig. 33.

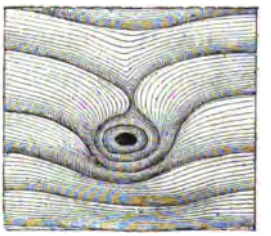


Fig. 34.

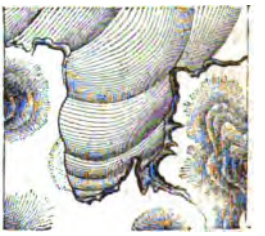


Fig. 35.

Lubbock, donnent une idée de ces variations dans la marche des ondes.

La différence qui frappe le plus l'esprit des marins et des habitants du littoral est celle de la hauteur des marées. En telle partie des côtes de l'Océan, le flot se fait à peine sentir, même pendant les syzygies d'équinoxe, tandis qu'ailleurs toute marée est un véritable déluge et s'étale à perte

de vue sur d'énormes espaces, qui lors du reflux émergent de nouveau. Ce contraste étonnant dans l'amplitude totale du flot provient de la différence de vitesse qu'offre la marche des oscillations dans les mers et dans les baies du littoral. En effet, la grande intumescence soulevée par les astres peut être considérée comme formée d'un très-grand nombre de vagues successives, occupant une largeur considérable à la surface de la mer. En plein Océan, toutes ces rides se déplacent avec une grande vitesse; mais à mesure qu'elles se rapprochent des rivages, elles ralentissent leur mouvement et par suite doivent gagner en hauteur ce qu'elles perdent en rapidité. A la simple vue de la carte des marées, on peut affirmer d'avance que le flux s'élève de plusieurs mètres dans les golfes où l'on voit les lignes cotidales se presser les unes sur les autres par suite du retardement graduel de la vague d'intumescence.

Sous ce rapport, les faits confirment pleinement la théorie. Le golfe du Bengale, celui d'Oman, la mer de Chine, les échancrures de la côte orientale de la Patagonie, la baie de Panama, celle de Fundy, entre le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse, la Manche et le canal d'Irlande sont des parages où les crêtes d'égale intumescence se poursuivent de très-près, et c'est aussi là que la plus grande étendue de rivages est alternativement couverte et découverte par le flot. Dans le port de Panama, les marées s'élèvent à plus de 7 mètres, cachant et délaissant tour à tour une plage immense dans leur mouvement diurne de va-et-vient, tandis qu'à 60 kilomètres de distance à peine, sur l'autre rivage de l'isthme, le flux et le reflux sont à peine sensibles[1].

Dans la mer d'Oman et la mer de Chine, l'amplitude de la marée d'équinoxe est de près de 11 mètres à l'extrémité des golfes; à l'embouchure de la Severn et dans la grande baie française du mont Saint-Michel, la différence de hauteur entre les malines et les plus basses eaux est

1. De Boucheporn, *Philosophie naturelle*, p. 195, 197.

de 14 à 15 mètres. Au sud du continent d'Amérique, dans les golfes de San-Jorge et de Santa-Cruz, à l'entrée du détroit de Magellan, Fitz-Roy a mesuré des marées de 15, de 18 et de 20 mètres de hauteur; enfin, dans la baie de Fundy,

BAIE DE FUNDY.

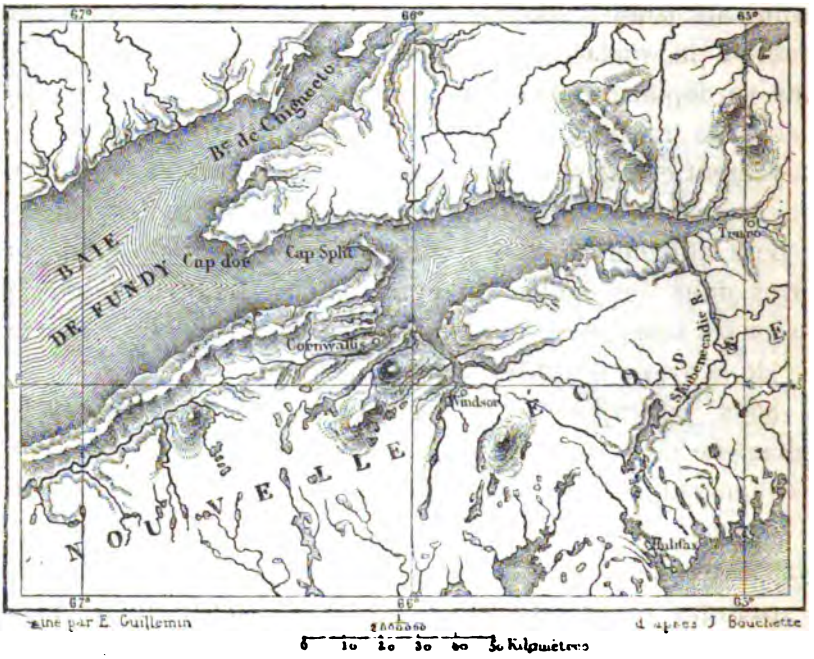


Fig. 36.

si bien disposée par le contour de ses rivages et le relief de son lit pour retarder progressivement la marche du flux, l'écart entre la haute et la basse mer, qui est de $2^m,70$ seulement à l'entrée, augmente par degrés jusqu'à plus de 21 mètres vers l'extrémité de l'entonnoir. C'est probablement la partie du littoral océanique où les oscillations régulières des eaux s'accomplissent de la manière la plus grandiose. Deux fois par jour, d'immenses plages neutres, qui ne sont ni la terre ni la mer, se changent en golfes profonds; les navires échoués se redressent et voguent à pleines voiles; des villes perdues dans l'intérieur des terres se trouvent assises sur des péninsules assiégées par la mer. A Saint-

John, dans le Nouveau-Brunswick, on voit à marée basse une cascade briller au fond du port; mais bientôt le flux vient battre le pied de la falaise, diminue graduellement la hauteur de la chute, la noie en entier dans les eaux salées et, s'épanchant au loin sur la terrasse supérieure, permet aux embarcations de pénétrer dans le bassin naturel ménagé au-dessus de la cascade.

Des phénomènes analogues ont lieu dans les deux baies du mont Saint-Michel et de la Severn. Là aussi les rivières

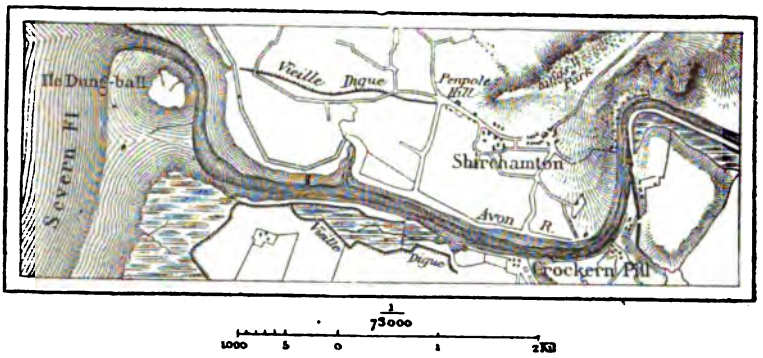


Fig. 37. — Embouchure de l'Avon; d'après la carte de l'Ordonnance.

et les ruisseaux sont périodiquement changés en golfes, là aussi les havres sont des ports de marée où les navires, à l'exception de ceux qui sont enfermés dans les bassins, s'inclinent sur le flanc dans les sables ou les vases à l'heure de la basse mer. De même l'espace qui s'étend entre Noirmoutiers et la côte de la Vendée est alternativement un isthme et un détroit : un grand chemin, que parcourent les chars, serpente dans la plaine de sable entre les flaques d'eau, puis, quelques heures après, les bateaux passent, voiles déployées, au-dessus de la route. Souvent on voit des marins se promenant tranquillement sur la plage à une faible distance de leur navire échoué, ou bien fouillant le sol pour y trouver des coquillages; mais que le roulement lointain du flot se fasse entendre, et, dans l'espace de quelques secondes, l'équipage est à bord; les préparatifs sont faits pour une nouvelle étape, et l'embarcation, soulevée par le flot, vogue rapidement sur la mer.

Sur les côtes de l'Europe occidentale, c'est principalement dans la baie de Saint-Michel que la marée montante offre le spectacle le plus grandiose, car au centre du golfe

DÉTROIT DE NOIRMOUTIERS.

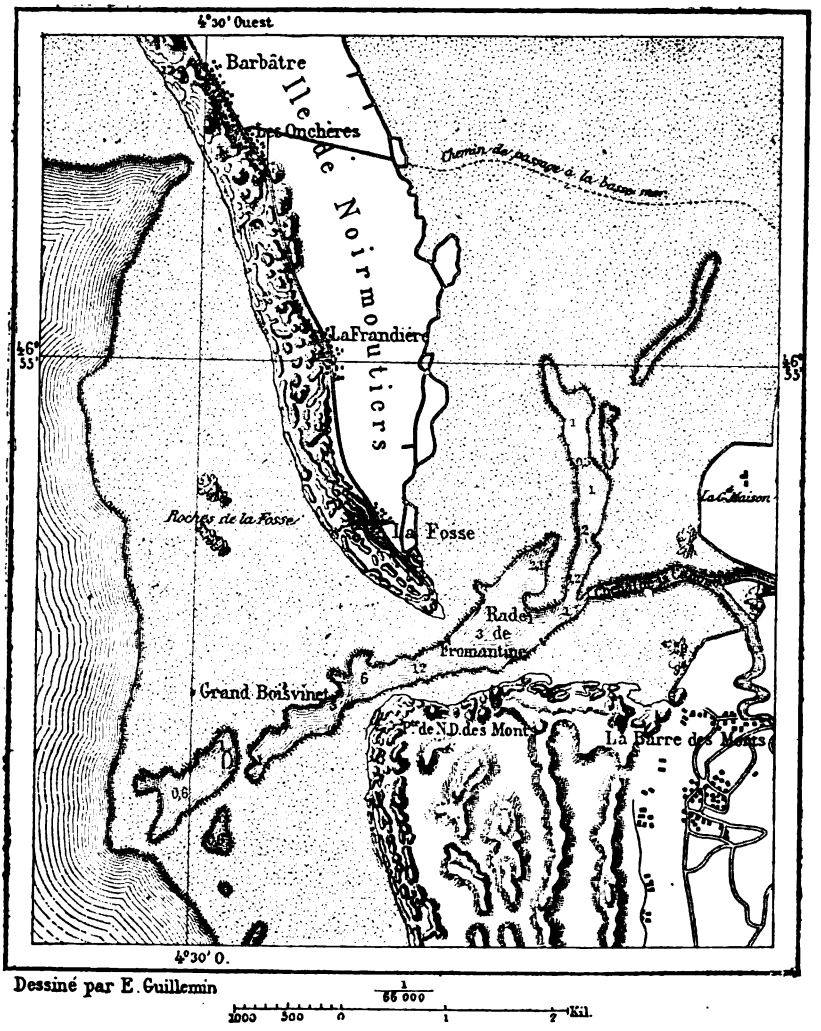
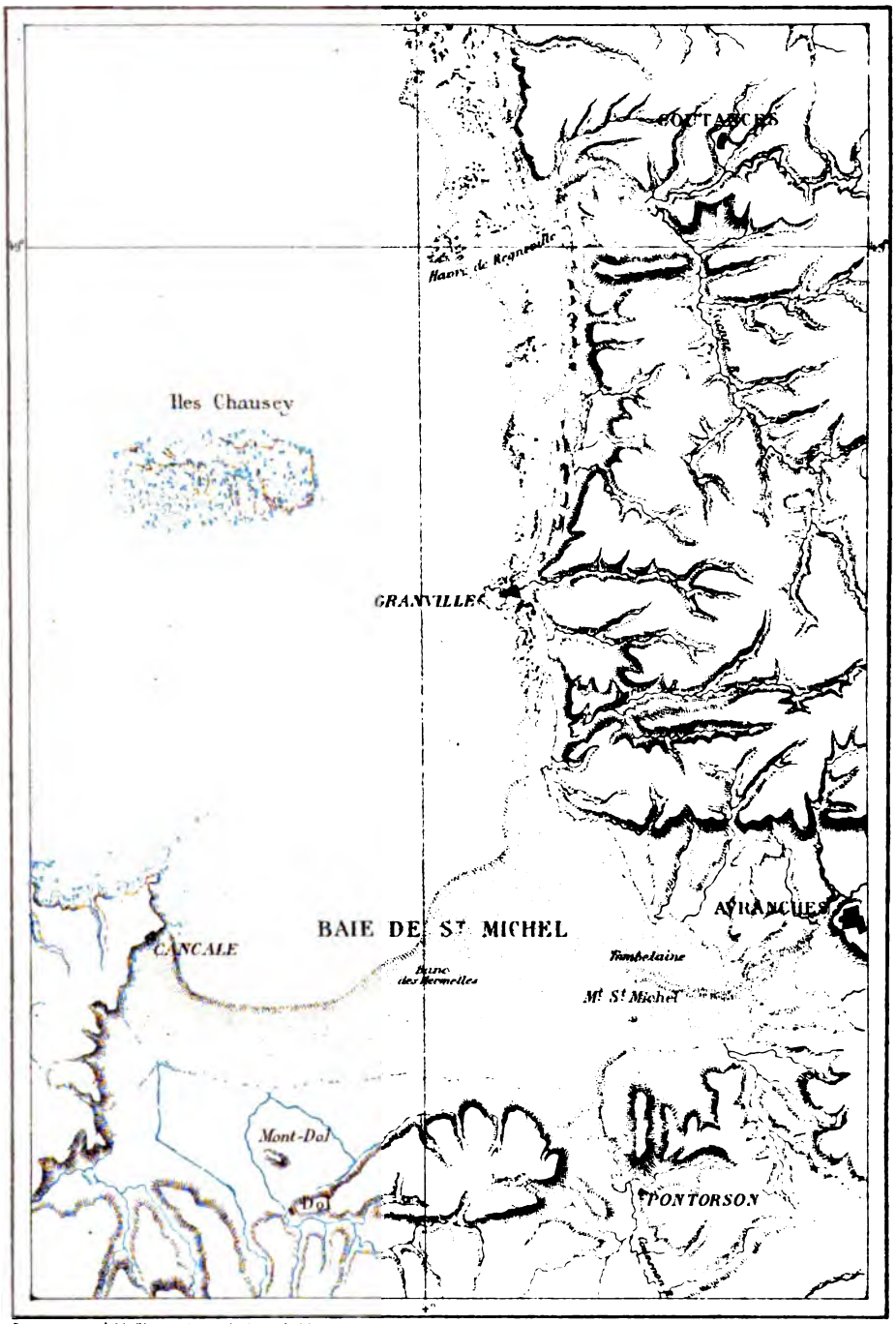


Fig. 38.

se dresse un noir rocher granitique, à la fois « abbaye, cloître, forteresse et prison, » qui, par ses rochers abrupts et son « titanique entassement, roc sur roc, siècle sur siècle, mais toujours cachot sur cachot, » contraste avec la triste

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

BAIE DE St MICHEL



Dressée par A. Vuillemin d'après la Carte de l'Etat-Major

Gravée par Erhard

1 / 380000

Kilomètres

5 10

étendue des plages[1]. A mer basse, l'immense plaine de sable, d'une superficie d'environ 250 kilomètres carrés, ressemble à un lit de cendres; mais, lorsque la marée, plus rapide qu'un cheval au galop, remonte en écumant la pente presque insensible, il lui suffit de quelques heures pour transformer toute la baie en une nappe d'eau grisâtre et pénétrer au loin dans les embouchures des rivières jusqu'au pied des quais d'Avranches et de Pontorson. Au reflux, les eaux se retirent avec la même rapidité à plus de 10 kilomètres du rivage et laissent à nu la grande plage déserte, que parcourent les deltas souterrains des ruisseaux tributaires, en formant çà et là des gouffrés perfides de vase molle où les voyageurs risquent de s'engloutir. Lors des marées de vives eaux, on évalue la masse liquide qui pénètre dans la baie à plus de 1 milliard 345 millions de mètres cubes, et, même pendant les mortes eaux, le déluge qui parcourt deux fois les plages dans l'espace de vingt-quatre heures n'est pas moindre de 700 millions de mètres[2]. Est-il étonnant que de pareils torrents aient pu jadis, poussés par les tempêtes, rompre la chaîne de dunes qui protégeait au nord les rochers de Tombelène et de Saint-Michel, et transformer en grèves infertiles les belles campagnes, les vastes forêts qui s'étendaient au pied de la péninsule du Cotentin[3]?

Les études de Beechey sur les marées de la Manche et de la mer d'Irlande peuvent faire considérer comme certain que l'énorme amplitude du flux et du reflux à l'embouchure de la Severn et dans les baies de Cancale et de Saint-Malo provient non-seulement de l'exhaussement graduel du fond, mais aussi de la superposition de deux vagues qui s'entre-choquent. En effet, la crête de marée qui pénètre dans le canal d'Irlande y rencontre, à la hauteur du golfe où débouche la Severn, une autre crête plus ancienne de douze

1. Michelet, *la Mer*, p. 18.

2. Marchal, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1854.

3. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre*.

heures, qui vient de contourner l'Irlande tout entière. Ces deux vagues, unies en une seule, prennent la direction commune qui résulte de leurs impulsions premières, et se dirigent ensemble dans le golfe de la Severn. De même la

MARÉES DE LA MANCHE.

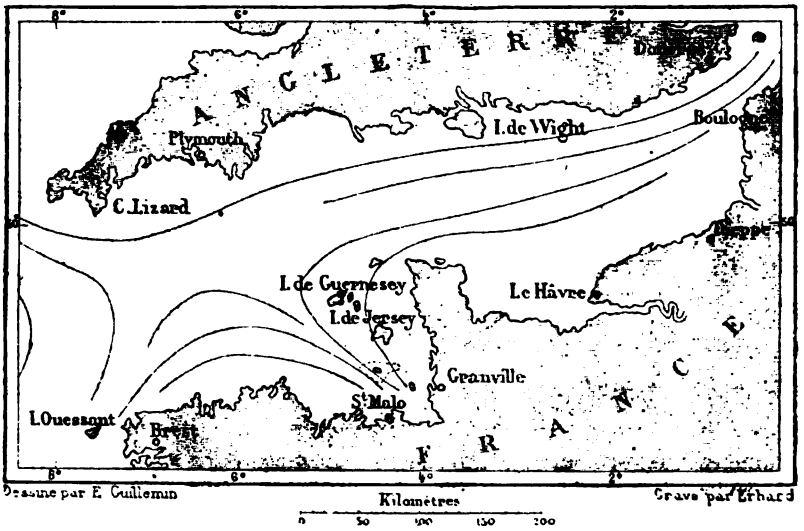


Fig. 39.

marée qui entre dans la Manche se heurte au large de Jersey contre un flot qui a fait en vingt-quatre heures le tour des îles Britanniques, et les deux intumescences, s'ajoutant l'une à l'autre, précipitent leur énorme masse liquide sur les plages et les roches de la Bretagne.

Si deux marées se superposent lorsque, venant de points opposés, elles se rencontrent à l'heure du plein, elles se neutralisent et se suppriment au contraire quand le flux de l'une se croise avec le reflux de l'autre : il se produit alors un phénomène d'interférence comparable à celui de deux vibrations lumineuses s'éteignant mutuellement. Fitz-Roy, le premier, a signalé une région de l'Océan où les marées contraires maintiennent en équilibre la surface des eaux. Cette région est l'estuaire de la Plata. A la vue de ce golfe, qui n'a pas moins de 240 kilomètres à l'entrée, on serait tenté de croire que l'amplitude du flux et du reflux

y est énorme comme dans la baie de Fundy ou dans le golfe de Saint-Malo; mais le contraire a lieu, les marées y sont presque nulles. Les fortes oscillations de niveau qu'on observe dans cet estuaire sont dues presque uniquement aux brises régulières et aux tempêtes qui dépriment les vagues d'un côté pour les soulever de l'autre. Or, comme en général les vents de terre dominent pendant la matinée, et sont remplacés le soir par la brise du large, le flux et le reflux, obéissant à l'impulsion alternative de l'atmosphère, se succèdent de douze heures en douze heures; la marée monte l'après-midi pour redescendre le lendemain matin[1]. Cette anomalie apparente s'explique par la rencontre de la haute et de la basse mer à l'entrée de l'estuaire. Les vagues de marée, qui se dirigent, au sud vers le Brésil, au nord vers la Patagonie, ne frappent point les côtes au même instant du jour; elles se suivent à un intervalle de plusieurs heures, et les courants latéraux qui en dérivent se succèdent au débouché de l'estuaire de la Plata, de manière à en maintenir la masse liquide à peu près au même niveau. Au moment où le reflux de la marée septentrionale tendrait à se produire, arrive le flux méridional, dont la pression, exercée en sens contraire, empêche les eaux de s'abaisser; puis quand se présente une nouvelle marée venue des côtes du Brésil, la surface de la mer s'abaisse déjà dans les parages du sud. Les intumescences s'entre-croisent, et sur la ligne d'interférence l'eau ne subit aucune oscillation.

C'est probablement à des phénomènes de même nature qu'il faut attribuer la formation de ces marées diurnes, et d'ailleurs toujours très-faibles, qui se produisent à l'embouchure du Mississipi, sur les côtes de la Nouvelle-Irlande à Port-Dalrymple dans la Tasmanie, au sud de l'Australie près du golfe de King-George, dans le golfe de Tonquin, dans la baie de Bahr-el-Benat ou « mer des Filles » du golfe Persique, enfin dans la mer Blanche et en beaucoup d'autres

1. Martin de Moussy, *Confédération Argentine*, t. I, p. 78.

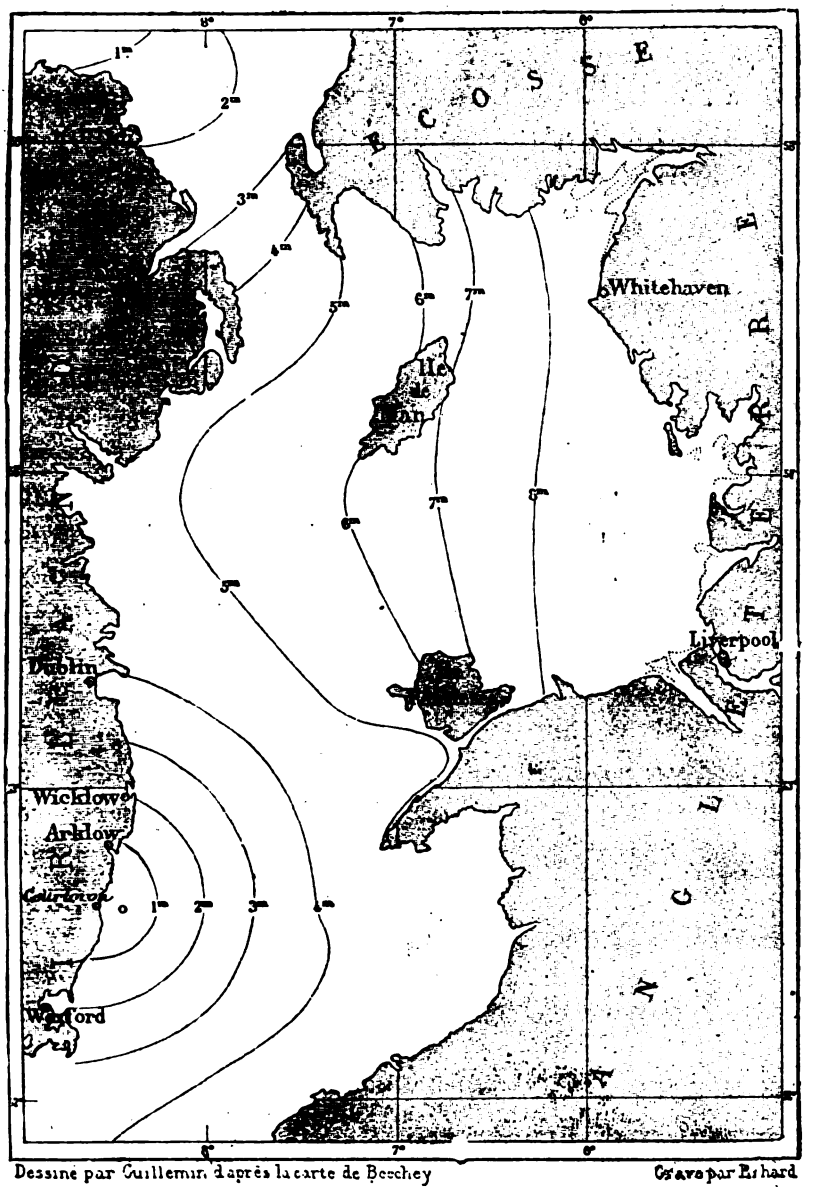
parages du pourtour océanique. Ces lents changements de niveau, dont le flux et le reflux durent chacun douze heures, offrent, comme les marées ordinaires, la plus grande diversité dans leurs phénomènes, suivant la direction des vents et des courants, la position respective du soleil et de la lune, la partie de la mer où s'établit l'équilibre des eaux. A la surface mouvante de l'Océan, toutes les ondulations, quelle qu'en soit la cause, se mêlent et se confondent, et dans ce mélange sans cesse changeant des flots, il est impossible de discerner, sans de longues et patientes recherches, la part de chacun des agents qui troublent l'horizontalité parfaite du niveau marin; on ne peut résoudre le problème que d'une manière toute générale, sans tenir compte de détails encore mal observés. Ainsi l'on sait que dans le port de la Vera-Cruz et sur le littoral voisin, les vents ont une prépondérance marquée, car ils maintiennent parfois la surface marine au même niveau pendant des jours entiers. Aux bouches du Mississipi, où la marée diurne n'a guère que 36 centimètres d'amplitude, elle n'en est pas moins régulière dans ses allures, et chaque jour sa hauteur totale représente exactement la différence de niveau entre les deux vagues composantes qui viennent s'y croiser. Enfin la marée de Tahiti, haute de 30 centimètres à peine, est la résultante d'oscillations bien plus nombreuses, car là viennent se rencontrer quatre flux venus des quatre points cardinaux, tous différents par leur vitesse et par l'heure du plein. Il n'est pas étonnant qu'au milieu de cet entrecroisement général des marées de l'océan Pacifique, celle de Tahiti soit à peu près complétement neutralisée[1].

Le canal d'Irlande, si bien étudié par Beechey, offre un très-curieux exemple d'un équilibre parfait des eaux, et cela presque vis-à-vis du golfe de Bristol, où la mer s'élève et s'abaisse alternativement de 15 mètres. Cette partie du canal, dont la surface reste immobile, borde la côte irlandaise, non loin de la petite ville de Courtown, au sud d'Arklow. Là, on n'a

1. Fitz-Roy, Appendice au deuxième volume, p. 290.

jamais observé ni montée ni descente de l'eau, bien que le

HAUTEUR DES MARÉES DANS LE CANAL D'IRLANDE.



Dessiné par Guillemin d'après la carte de Beechey — Gravé par Erhard

Fig. 40.

courant du flot et celui du jusant longent alternativement la côte avec une vitesse de plus de 7 kilomètres à l'heure. Le

point où les eaux se trouvent toujours en équilibre peut être considéré comme une sorte de *pivot*[1] sur lequel s'appuient les marées; leur amplitude est de plus en plus grande à mesure qu'on s'éloigne de cette région tranquille, au nord-est vers Holyhead et Liverpool, au sud-est vers Milford-Haven et Bristol. Dans la mer du Nord, la rencontre du « vif » et du « mort » de l'eau, non loin du Pas-de-Calais, est marquée par un autre pivot d'équilibre qui semble osciller entre les côtes de Hollande et celles d'Angleterre, suivant les courants atmosphériques et maritimes et les mouvements des astres. En cet endroit, Hewitt a constaté que la marée s'élève à 61 centimètres seulement; c'est dans cette région, où les eaux se maintiennent presque toujours au même niveau, que se sont déposés les bancs de sable les plus nombreux et les plus considérables.

Il paraît que les deux courants de marée qui se rencontrent près du Pas-de-Calais, l'un venant directement de l'Atlantique, l'autre arrivant de la mer du Nord, ne suivent point le milieu du chenal, et par conséquent ne se heurtent point de front. La rotation de la terre qui, dans l'hémisphère septentrional, déplace tous les corps mobiles vers la droite, fait dévier dans ce sens chacun des flots de marée. Dans la Manche, la vague de flux qui s'est propagée directement appuie constamment sur sa droite, c'est-à-dire au sud; sa force est donc beaucoup plus grande sur les côtes de France que sur celles

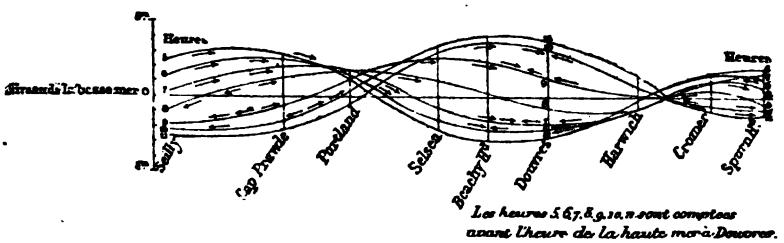


Fig. 41. — Croisement des intumescences de marée dans la Manche et la mer du Nord, des îles Scilly à l'embouchure du Humber.

d'Angleterre, et, quand elle a franchi le détroit, elle garde sa prépondérance sur le littoral du continent jusqu'aux bouches

1. C'est le *hinge* ou « gond » des marins anglais.

de la Meuse ; de son côté, la marée venue du nord dévie également vers la droite pour longer les rivages de l'Angleterre. Le croisement de ces deux courants contraires donne lieu, sur les côtes de la France et de la Grande-Bretagne, à la formation de nombreux mouvements giratoires, dont les courbes incessamment changeantes forment un véritable dédale[1].

Dans la rade du Havre, la rencontre des marées a pour conséquence un phénomène remarquable, qui est en même temps des plus utiles pour la navigation. Au lieu de baisser aussitôt après avoir atteint son point culminant de marée, la mer reste *étale* pendant trois heures, et permet ainsi aux navires de parcourir toute la rade et de pénétrer à leur aise dans le port, en voguant constamment sur une eau profonde. Les marins voyaient dans ce fait une sorte de miracle avant que la vraie cause en eût été révélée. Quand la marée de l'Atlantique se déroule vers l'est au milieu de la Manche, elle est arrêtée dans sa course par la presqu'île du Cotentin, et ne peut s'avancer librement qu'au nord du golfe où débouche la Seine. Le niveau marin se trouve alors plus élevé au centre de la Manche que sur ses bords, et les eaux s'épanchent de côté vers la rade du Havre comme vers les autres parages du littoral. Lors du reflux, quand le jusant s'est établi au milieu du canal, la pente se trouve changée; mais avant que les eaux du Havre aient pu descendre à ce fleuve central de la Manche qui ramène à l'Océan une énorme masse liquide, elles sont soutenues par le flot qui, après avoir frappé le cap d'Antifer, a longé les rivages, du nord-est au sud-ouest, jusqu'au cap de La Hève; puis quand la force de cette marée partielle s'est perdue, une autre marée riveraine qui a suivi la côte de la Normandie, de Saint-Vaast à Trouville, maintient encore la mer étale pendant un certain temps[2].

Dans presque tous les ports de rivière, on le comprend,

1. Plocq, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1863, 1er sem.
2. Baude, *Revue des Deux Mondes*.

la marée descendante dure plus longtemps que la marée montante, car le courant fluvial neutralise le flux pendant une période plus ou moins longue, puis, s'ajoutant au reflux, ne peut qu'en augmenter la durée[1]. Un fait plus difficile à expliquer, c'est que, même dans la plupart des ports éloignés de toute bouche de rivière, la marée montante est plus courte que la marée descendante; cependant on voit aussi de nombreux exemples du contraire, notamment au port de Holyhead. D'après l'hypothèse généralement adoptée, cette plus grande durée du reflux devrait être attribuée à la rotation de la terre dans le sens de l'ouest à l'est. La vague de marée se propageant en sens inverse, c'est-à-dire de l'est à l'ouest, rencontrerait dans les eaux qui s'étendent au devant d'elle une certaine résistance; elle se redresserait et deviendrait plus escarpée, plus rapide vers l'occident, tandis que son autre pente, celle du reflux, s'allongerait vers l'orient. Telle serait la cause pour laquelle la phase de croissance ne dure point aussi longtemps que la phase contraire.

Les inégalités que l'on observe en certains parages entre deux marées successives sont également un phénomène étrange et à certains égards inexpliqué. Ces inégalités diverses, qui portent tantôt sur la durée, tantôt sur la hauteur respective des deux marées du matin et du soir, ou qui affectent même chaque oscillation dans son régime entier, proviennent en partie de la déclinaison de la lune, c'est-à-dire de sa distance variable au sud ou au nord de la ligne équinoxiale; mais, en beaucoup de cas, les différences entre deux marées successives sont relativement énormes et toute explication paraît insuffisante. Ainsi à Port-Essington, sur la côte septentrionale de l'Australie, on observe des écarts en hauteur de $1^m,20$ entre l'oscillation du soir et celle du matin. A Singapore, où la marée moyenne pendant les vives eaux est de $2^m,10$ seulement, la différence entre deux flots qui se suivent est parfois de $1^m,80$. A Kur-

1. Voir, ci-dessous, page 145.

rachie, la variation journalière n'est pas moins forte, et dans le golfe de Cambaye elle atteint jusqu'à $2^m,10$ et $2^m,40$. A Bassadore, à l'entrée du golfe Persique, la durée d'une oscillation de la mer dépasse quelquefois de deux heures celle de l'oscillation qui suit; enfin il est arrivé à Petropaulowsk, dans le Pacifique du Nord, que des marées attendues sont restées complétement absentes. On ne saurait expliquer ces anomalies singulières que par le croisement de plusieurs vagues réflexes, diurnes et semi-diurnes, qui se troublent les unes les autres et dont les oscillations confuses sont produites par la rencontre de mouvements divers par l'origine. C'est ainsi qu'à la surface d'un étang, les ondes parties de points différents forment un immense réseau de lignes entre-croisées, que le souffle du vent mêle en vaguelettes indécises.

IV.

Les courants de marée. — Les *ras* et les tourbillons. — Les *mascarets*. Marées fluviales.

La croyance populaire est que les oscillations des marées sont toujours accompagnées de courants changeant régulièrement et se portant alternativement dans le même sens que le flux et le reflux. C'est là, il est vrai, un phénomène assez fréquent, surtout à l'embouchure des rivières; d'ordinaire, quand l'eau s'élève, un courant de flot se précipite en même temps vers le rivage et dans les estuaires des fleuves, puis, quand le niveau de la masse liquide s'abaisse, un courant de retour ou jusant, aidé par les eaux douces qui viennent de l'intérieur, se dirige de nouveau vers la haute mer. Néanmoins cette coïncidence des courants horizontaux avec les oscillations verticales de l'Océan est loin

de se reproduire avec régularité dans tous les parages; la marée, étant simplement une intumescence de la mer, peut se redresser sans que le moindre déplacement s'accomplisse

COURANT DE MARÉE DANS LE CANAL D'IRLANDE.

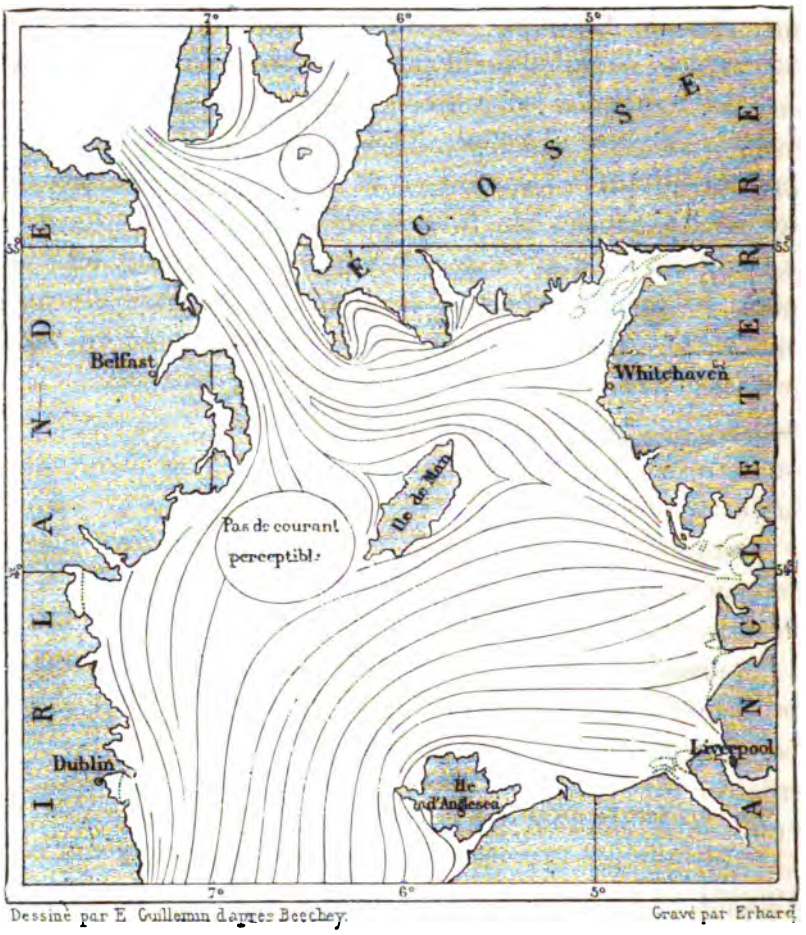


Fig. 42.

dans un sens ou dans un autre. On en voit un remarquable exemple dans ce canal Saint-George, si riche en curieux phénomènes maritimes. Au milieu du canal qui sépare l'île de Man et l'Irlande, la nappe d'eau se maintient parfaitement tranquille entre des courants contraires, bien que la marée monte en cet endroit de 6 mètres environ pendant les vives eaux. En revanche, comme on le voit à Courtown, sur la

côte d'Arklow, le courant déterminé par la rencontre de marées opposées peut avoir une grande vitesse là où la surface de la mer ne s'élève ni ne s'abaisse[1]. Enfin un même flot peut suivre une direction constante à travers deux régions contiguës de la mer, dont l'une est à la période du flux et l'autre à celle du reflux.

Les courants qui se produisent dans les détroits à cause de la différence de niveau sont parfois d'une violence extrême, et par leurs brusques changements, leurs remous, leurs tourbillons, peuvent être rangés parmi les plus dangereux phénomènes de l'Océan. Ainsi l'entrée du golfe des îles Normandes est à bon droit redoutée par les navigateurs à cause de l'effrayante vitesse qu'y atteignent les courants de marée. Le ras Blanchard, détroit qui sépare le cap de la Hogue de l'île anglaise d'Aurigny (Alderney), est le premier de ces terribles défilés marins, où le flot et le jusant, resserrés entre des chaînes d'écueils et de bas-fonds, coulent lors des vives eaux avec une vitesse de plus de 16 kilomètres à l'heure. Puis vient le détroit qui porte le nom significatif de passage de la Déroute, et dans lequel se rencontrent les courants qui longent l'âpre côte occidentale du Cotentin, et ceux qui viennent directement de la haute mer par la brèche ouverte entre les îles de Jersey et de Guernesey; là les fleuves marins, moins rapides, fuient cependant animés d'un élan de plus de 3 mètres par seconde[2]. Depuis le désastre de la Hogue, où Tourville, impuissant à remonter le formidable courant du ras Blanchard, perdit un si grand nombre de ses vaisseaux, que de navires se sont brisés, que d'équipages ont péri dans ces terribles détroits, qu'a choisis Victor Hugo pour en faire le théâtre du sombre drame des *Travailleurs de la Mer!*

Les défilés marins des petits archipels du littoral de la Bretagne, et, dans les mers boréales, les détroits des Hébrides, des Orcades, des Shettland, des Feröer, des Lof-

1. Voir, ci-dessus, page 132.
2. Monnier, *Mémoire sur les courants de la Manche.*

foden, dont les roches en désordre hérissent un fond de mer très-inégal et coupé d'abîmes, sont également traversés par des courants alternatifs de marée, d'autant plus rapides et plus tumultueux que la différence de niveau est plus grande entre les deux nappes qui se rencontrent. Le plus formidable de ces passages est peut-être le Great-Gulf ou « Coirebhreacain[1], » ouvert entre les îles Jura et Scarba, sur la côte occidentale de l'Écosse. A chaque changement de marée, il se produit un courant portant tour à tour vers le rivage de la terre ferme et vers la haute mer : la carte de l'Amirauté anglaise en évalue la vitesse à 17 kilomètres et demi par heure, mais les marins affirment qu'elle est au moins de 20 kilomètres, c'est dire que sur les continents pas un fleuve débordé ne roule ses flots avec une pareille fureur. Aucune embarcation ne saurait se hasarder, au fort de la marée, sur un « ras » aussi effrayant, surtout quand le vent souffle dans la direction contraire au flot, car le Coirebhreacain n'est alors dans toute son étendue qu'une « chaudière » écumeuse, sans limites visibles à l'horizon[2].

D'autres conflits de marée sont à peine moins effrayants tel est celui qu'on observe dans le détroit de Pentland, entre les Shettland et les Orcades, et qui détermine la formation de courants évalués à plus de 16 kilomètres à l'heure; mais le plus célèbre de tous ces chocs entre deux marées d'un niveau différent est, vers l'extrémité méridionale de l'archipel des Loffoden, le Mosköe-strom, appelé aussi Mael-strom par les marins. La sombre imagination des peuples du Nord, toujours portée à créer des monstres, voyait dans le détroit du Mosköe-strom un poulpe aux bras de plusieurs centaines de mètres de longueur, qui faisait tourbillonner les eaux en un immense remous pour y attirer les embarcations et les engloutir. De cette ancienne légende est même restée chez plusieurs l'idée que ce courant est une sorte de gouffre en forme d'entonnoir, duquel

1. En gaëlic, *Chaudière de la mer tachetée.*

2. *Athenæum,* 26 août 1864. — *Mittheilungen von Petermann,* t. IX, 1864.

les objets flottants se rapprochent par degrés en décrivant des cercles de plus en plus rétrécis, jusqu'à ce qu'ils plongent enfin et pour jamais dans le puits tournoyant. Mais il n'en est rien : les seuls remous sont de petits tourbillons latéraux produits par la rencontre des courants et se creusant de 2 ou 3 mètres à peine. Le phénomène principal consiste, comme dans le Coirebhreacain et le ras Blanchard, en un mouvement rapide des eaux, qui se portent alternativement dans un sens ou dans l'autre, lors du renversement des marées. Lorsqu'au large le flux s'élève dans la direction du sud au nord, une partie de sa masse s'épanche avec force dans le détroit ouvert au sud, entre les deux îles de Mosköe et de Mosköe-næs. A mesure que la surface se rapproche de l'état d'équilibre, le courant, graduellement affaibli, se porte vers le sud-ouest, puis vers l'ouest. Une période de calme succède à ces divers mouvements du flot quand le niveau s'est parfaitement établi; mais bientôt le reflux commence et le courant se porte alors en sens inverse, d'abord vers le nord, puis vers le nord-est et vers l'est. Ainsi, dans l'espace d'une marée, les eaux se sont alternativement portées, bien qu'avec une force variable, vers tous les points de l'horizon.

Les courants de marée qui se produisent à l'entrée des rivières donnent fréquemment lieu à des mouvements tumultueux, moins redoutables, il est vrai, que ceux des « ras » dans les archipels, mais d'un aspect parfois aussi saisissant. Ces phénomènes sont connus sous le nom de *barre* ou *mascaret*.

En pénétrant dans l'estuaire d'un fleuve, le flot de marée, que retardent les bas-fonds et que rétrécissent les rivages, doit nécessairement se gonfler en vague à cause du frottement de la masse liquide contre son lit. Toutes les embouchures, toutes les baies dans lesquelles pénètre le flux, offrent donc le spectacle du mascaret; mais, en beaucoup de passages, l'inclinaison régulière du fond, l'uniformité des rives ou bien encore un croisement de courants divers atténuent la première ondulation du flot de marée,

ou permettent de la confondre avec d'autres rides de la surface. Ailleurs, au contraire, toutes les conditions topographiques se trouvent réunies pour donner une grande hauteur au mascaret, et celui-ci se dresse alors comme une muraille mouvante d'une rive à l'autre rive de l'estuaire. Aux bouches de certains fleuves, tels que le courant des Amazones, le Hoogly, la Seine, la Dordogne, l'Elbe, le Weser, les vagues de mascaret prennent d'énormes proportions à l'époque des hautes marées, et deviennent alors de redoutables phénomènes. Dans l'Amazone, la barre, appelée *pororoca* à cause du grondement de ses eaux, se dresse, dit-on, en trois vagues successives atteignant ensemble de 10 à 15 mètres de hauteur, et les embarcations surprises par ce déluge soudain risquent fort de sombrer comme en pleine mer.

A l'embouchure du Gange, le mascaret est également très-redoutable, ainsi que l'exprime en langage symbolique la vieille légende indoue. Bagharata, ayant pris pour épouse au milieu des neiges la divine Ganga, la souleva dans ses bras et, montant sur son char, fit tracer aux deux roues les bords du large lit de la déesse; mais, arrivée près du rivage marin, Ganga recula d'effroi devant l'impur et monstrueux Océan; elle s'enfuit brusquement par cent canaux et depuis cette époque elle va, vient tour à tour, tantôt se hasardant à descendre de nouveau, tantôt s'échappant encore vers les montagnes deux fois dans la journée[1].

C'est dans la baie de Seine que le mascaret a été le plus régulièrement et le plus soigneusement observé. En accourant du large avec une vitesse de 5 mètres à 7 mètres et demi par seconde, le mur liquide reste infléchi vers le centre sous la pression du courant fluvial. Les deux pointes de l'énorme croissant se brisent en écume sur les rivages, tandis qu'au milieu de la concavité, la vague unie et ronde marche sans même rider l'eau devant elle. Le rouleau semble tourner sur le fleuve comme un serpent gigan-

1. Carl Ritter; — von Hoff, *Veränderungen der Erdoberfläche*, t. I, p. 378.

tesque; il s'élève de 2 ou 3 mètres au-dessus de la plaine liquide, et derrière lui se dressent en rides concentriques

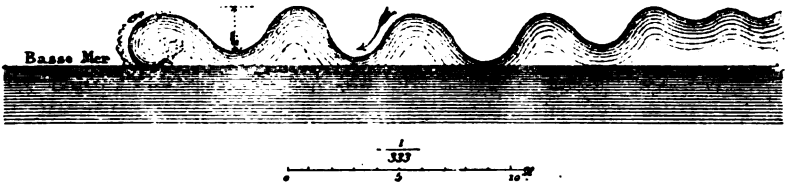


Fig. 43. — Coupe longitudinale d'un mascaret observé dans la baie de Seine; d'après M. Partiot.

des vagues ou « éteules » non moins hautes, avant-garde de la nappe de marée. Tous les obstacles placés sur la marche

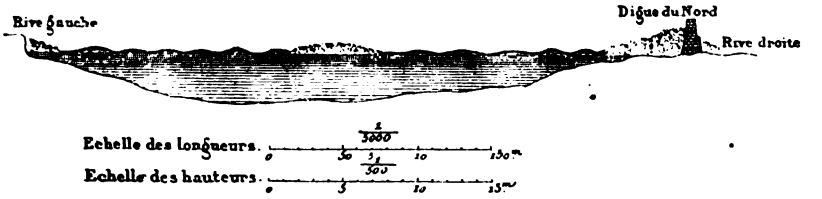


Fig. 44. — Élévation d'un mascaret observé entre Caudebec et la Meilleraye; d'après M. Partiot.

du mascaret l'exaspèrent, en accroissent l'élan; enfin, le flot, entrant dans une partie du lit plus large et plus pro-

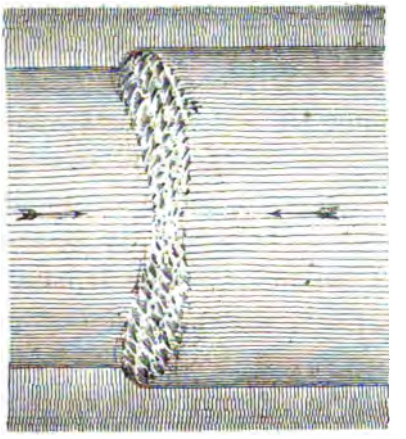


Fig. 45. — Plan d'un mascaret observé dans les passes de la baie de Seine; d'après M. Partiot.

fonde, se calme et modère graduellement sa hauteur jusqu'à la rencontre d'un autre bas-fond ou d'un promontoire. D'ail-

leurs chaque nouvelle marée se distingue de la précédente à cause de la différence des vents, des courants et des masses d'eau mises en mouvement. Rien de plus curieux

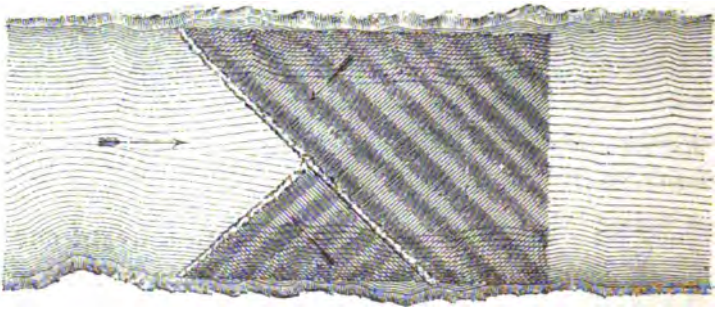


Fig. 46. — Plan de deux mascarets qui s'entre-croisent sur les bancs de la baie de Seine; d'après M. Partiot.

que de voir du haut d'un promontoire deux fragments de mascarets, repoussés obliquement par les rivages, croiser leurs sillons et leurs éteules.

Le seul moyen d'atténuer la force du mascaret, qui dans plusieurs estuaires, et notamment dans la baie de Seine, est parfois dangereux pour les petites embarcations, est de régulariser le canal par la suppression des bas-fonds et la rectification des rivages. Aussi les travaux qui assurent à la navigation un chenal plus libre et plus profond sont également ceux qui préviennent les dégâts causés par une trop grande violence du flot montant[1]. Récemment le mascaret de la Seine disparut pendant quelques années, grâce à l'endiguement d'un banc de sable qui gênait l'entrée du flot dans le lit du fleuve; mais la rencontre du mascaret et du courant fluvial ont reformé le banc de sable un peu plus loin. En frappant ce nouvel obstacle, le flot de marée se redresse, se cabre pour le surmonter. Différents travaux hydrauliques entrepris dans les lits de la Garonne et de la Dordogne, en amont du Bec-d'Ambez, y ont aussi modifié plusieurs fois les phénomènes du mascaret.

L'apparition brusque de la marée dans les estuaires a pour conséquence d'élever très-rapidement les eaux fluviales

1. Partiot, *Annales des Ponts et Chaussées*, t. I, 1861.

du niveau de basse mer à celui de haute mer. A Tancarville, qui est l'endroit précis où la Seine débouche dans la baie, et où la marée dépasse l'amplitude moyenne de 4 mètres, toute la montée de l'eau s'accomplit en deux heures, tandis que la descente de la masse liquide refoulée par le flot occupe environ dix heures. Le fleuve, ayant à débiter pendant la période du jusant non-seulement ce que le flux marin lui avait apporté, mais aussi les eaux douces qui lui viennent de l'amont, doit suivre son cours normal vers la mer pendant un temps plus long que celui de son refoulement par la marée montante. Pour chaque point du lit de la rivière la durée du flux est en général d'autant plus courte que ce point est plus éloigné de la mer : la force de la marée s'épuise peu à peu et, vers la fin de sa course, elle se borne à retarder un instant la vitesse du courant fluvial. Quoi qu'il en soit, c'est un des phénomènes les plus remarquables que cette pénétration du flot de marée jusqu'à une si grande distance dans l'intérieur des continents. Dans la Garonne, le flux remonte jusqu'à plus de 160 kilomètres; dans le fleuve Hudson, qui est relativement étroit, l'eau, soutenue par la marée, s'élève encore de 30 centimètres devant Albany, à 235 kilomètres en amont de New-York, et d'après les chroniques hollandaises, des baleines sont allées s'échouer plus haut encore, vis-à-vis de l'embouchure du Mohawk[1]. Dans le fleuve des Amazones, où tous les phénomènes hydrologiques prennent de si grandes proportions, l'eau affluant de la mer gonfle encore la masse liquide de l'énorme courant et de tous ses tributaires jusqu'au delà de Santarem, à 1,000 kilomètres de l'estuaire d'entrée.

L'amplitude des marées diminue également à proportion de leurs progrès vers l'amont des fleuves. La masse d'eau douce coulant incessamment dans le canal empêche la marée basse de se creuser comme elle le fait au bord de la mer et, quant à la marée haute, sa moindre durée ne lui permet pas de s'élever à un niveau bien supérieur à celui qu'elle

1. French, *Gazetteer of the State of New-York*, p. 157.

atteint sur les plages et les falaises océaniques : ainsi dans la Garonne, l'écart entre le flux et le reflux diminue graduellement en amont du Bec-d'Ambez; près de Castets, à plus de 150 kilomètres de la mer, elle se réduit enfin à zéro. En

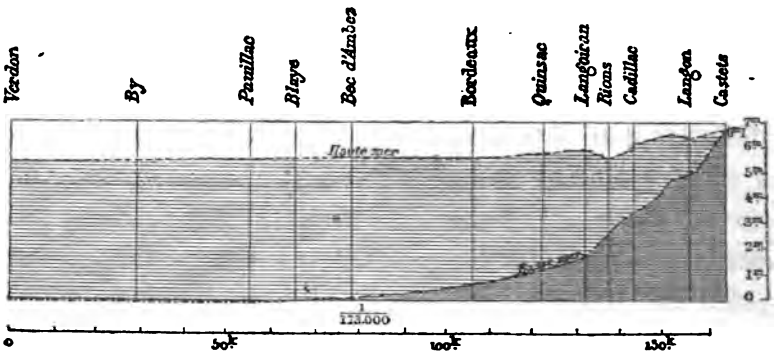


Fig. 47. — Marées de la Garonne.

certains endroits, il est vrai, des circonstances particulières peuvent causer des exceptions apparentes à cette loi générale; tel promontoire dressé en travers du flot de marée, comme celui de Tancarville, dans la baie de Seine, barre la route aux eaux marines et leur donne par conséquent une plus grande hauteur relative au-dessus des basses mers; mais en dépit de ces brusques ressauts, l'amplitude moyenne des marées n'en diminue pas moins de l'aval à l'amont et finalement elle devient insensible.

V.

Flux et reflux dans les lacs et les mers intérieures. — Courants de l'Euripe. Charybde et Scylla.

L'attraction de la lune et du soleil agit sur les mers fermées comme sur le grand Océan; mais dans les bassins d'une trop faible étendue la marée n'a pas l'espace nécessaire pour se soulever et se développer d'une manière

appréciable. Actuellement le lac Michigan, dont la surface est pourtant de 62,000 kilomètres carrés, est la plus petite nappe lacustre où l'on ait constaté avec précision le retour régulier du flux et du reflux; l'amplitude de la marée y est, d'après le lieutenant Graham, de 75 millimètres. Toutefois il n'est pas douteux que des bassins lacustres plus petits éprouvent aussi des oscillations normales de douze heures en douze heures : des mesures faites avec soin les révéleront probablement un jour.

Même dans la vaste Méditerranée, les marées sont très-peu sensibles, si ce n'est dans les golfes des Syrtes, entre l'ancienne Pentapole et la Tunisie. Dans ces parages, le phénomène du flux et du reflux s'accomplit avec la plus grande régularité et l'on peut en étudier la marche comme dans l'Océan. A l'embouchure de l'Oued-Gabès, presque au fond de la petite Syrte, l'eau monte et descend alternativement de 2 mètres au moins. Plus au nord, dans le port de Sfax, la différence moyenne entre les hautes et les basses eaux est d'environ $1^m,50$; mais à l'époque des équinoxes, cette différence atteint $2^m,60$; enfin à l'île de Djerbah, l'ancienne île des Lotophages, l'amplitude moyenne de la marée n'est pas moindre de 3 mètres[1]. Cette hauteur remarquable du flot sur le rivage des Syrtes provient sans doute de ce que la Méditerranée offre dans sa partie méridionale, de Port-Saïd à Ceuta, un bassin unique, au rivage faiblement sinueux, tandis que du côté de l'Europe, elle projette un grand nombre de petites mers partielles, celle de Sardaigne, le golfe Adriatique, la mer Ionienne, l'Archipel. En outre, les vents étant beaucoup plus réguliers sur le littoral africain, le jeu alternatif des marées n'y est pas troublé, comme sur les côtes d'Europe, appartenant à la zone des vents variables.

Cependant l'examen attentif du mouvement des ondes a également révélé aux observateurs l'existence du flot de marée dans les bassins partiels du nord de la Méditerranée. Au delà de Malaga, où les marées Atlantiques se pro-

1. Victor Guérin, *Voyage archéologique en Tunisie*, t. Ier.

pagent encore, le niveau de la mer change à peine; mais sur les côtes d'Italie les oscillations recommencent à devenir sensibles. A Livourne, le flux s'élève à plus de 30 centimètres; à Venise la différence entre les hautes et les basses mers de nouvelle et de pleine lune varie de 60 à 90 centimètres[1]. Aux embouchures du Pô, le flot de vive eau n'atteint pas même cette hauteur. Sur les côtes de Zante, dans la mer Ionienne, il est de 15 centimètres seulement; enfin à Corfou, il ne dépasse pas 20 millimètres[2]. Dans le bassin oriental de la Méditerranée, la marée est également très-faible; toutefois l'oscillation alternative de la mer n'est point ignorée des peuples riverains. Omar parlait sans doute du flux en disant que « la mer est située bien plus haut que la terre, et que nuit et jour elle demande à Dieu la permission d'inonder les campagnes. »

Non-seulement la Méditerranée a ses flux et ses reflux comme l'Océan, mais elle a aussi ses courants et ses tourbillons, et parmi ces phénomènes il en est qui, sans être aussi formidables que le Mosköe-strom ou le ras Blanchard, sont néanmoins beaucoup plus célèbres à cause de la gloire dont les a revêtus l'antiquité classique. Ainsi l'Euripe ou détroit d'Egribos, qui sépare l'île de Négrepont de la Grèce continentale, est traversé, dit-on, par des courants extraordinaires qui se produisent avec régularité dans leur étonnante anomalie. Jusqu'au huitième jour du mois lunaire, le flux et le reflux, dont l'amplitude moyenne est de 30 centimètres, se succèdent d'une manière normale, seulement avec une heure de retard; mais du neuvième au treizième jour, le mouvement d'oscillation se précipiterait tout à coup, et, durant les vingt-quatre heures, on ne compterait pas moins de 12, 13 ou 14 marées ayant chacune leur flux, leur période d'étale et leur reflux. Du quatorzième au vingtième jour, l'ordre rentrerait dans le détroit; puis du vingt et unième au vingt-sixième, chaque jour serait encore marqué

1. G. Collegno, *Geologia dell' Italia*, p. 280.
2. Von Hoff, *Veränderungen der Erdoberfläche*, t. III, p. 256.

par une série d'une douzaine de hautes et de basses mers. Tel serait le résultat de l'expérience faite par les usiniers qui voient les roues de leurs moulins tourner alternativement dans un sens ou dans l'autre, suivant la direction du courant[1]. De leur côté, les musulmans maintiennent comme un article de foi que les cinq flots de l'Euripe se succèdent régulièrement aux cinq heures de la prière[2]; enfin les rapides observations de plusieurs voyageurs décrivent encore autrement les oscillations de la mer dans l'étroit canal. Le fait est que les courants du détroit de Négrepont sont inexpliqués et, s'ils se succédaient d'une manière aussi bizarre que l'affirment les riverains, on comprendrait en effet la légende d'après laquelle Aristote, après avoir vainement cherché à deviner le mystère, se serait précipité de désespoir dans les tourbillons de l'Euripe.

Bien plus fameux encore que les courants du détroit de l'Eubée étaient les gouffres de Charybde et de Scylla, bravés pour la première fois par le sage Ulysse. D'après les chants homériques, les deux monstres hurlants qui gardent l'entrée du détroit de Messine attiraient dans leurs cavernes sous-marines d'immenses tourbillons d'eau qu'ils vomissaient ensuite en courants furieux, et tous les navires qui s'approchaient des antres formidables étaient inévitablement engloutis. Actuellement il n'est point dans la Méditerranée de détroit plus fréquenté que celui de Messine, et, grâce aux sondages opérés sur ces prétendus gouffres, où les anciens voyaient le « nombril de la mer », les monstres ont perdu leur terrible prestige. On sait maintenant que les tourbillons de Charybde et de Scylla ne sont autre chose que des mouvements latéraux produits par le flux et le reflux à leur passage dans ce canal trop étroit, dont la largeur ne dépasse guère trois kilomètres et qu'ont traversé plus d'une fois sur des chevaux à la nage les conquérants de la Sicile. Lors de la marée montante, le cou-

1. Berghaus; — von Klöden, *Handbuch der Erdkunde*.
2. *Natur*, t. VIII, 1864.

rant se porte au nord, de la mer d'Ionie dans la mer Tyrrhénienne ; à la marée descendante, le flot venu du nord reprend la prépondérance et repousse vers le sud le courant contraire[1]. Mais il y a lutte entre les deux masses liquides et

Fig. 48. — Profil du détroit de Messine.

le champ de bataille se déplace incessamment de Messine à Scylla. Sur les confins des courants, là où le mélange des eaux s'opère avec violence, il se forme des remous étroits où les vagues sont plus agitées qu'ailleurs : ce sont les œillets ou « *garofali.* » Les embarcations les évitent de peur d'être trop fortement secouées; mais elles n'ont point de danger à courir, si ce n'est quand le vent souffle avec violence en sens inverse de la direction du flot. C'est un curieux spectacle que celui du détroit, vu du haut des montagnes de Messine ou de Reggio, avec les rides et les remous qu'y décrivent les eaux en conflit : à chaque instant on voit changer de forme les nappes de teinte plus sombre indiquant la lutte du flux et du reflux.

Dans les autres mers fermées de l'Europe, les marées sont également peu sensibles. Elles ne sont que de 40 centimètres en moyenne dans le Zuyderzee, et, pendant les jours d'équinoxe et de tempêtes, elles y atteignent à peine $1^m,10$. La Baltique, beaucoup plus étroite et plus semée d'îles que la Méditerranée, subit en conséquence des oscillations beaucoup plus faibles : aussi l'appelait-on jadis *morimarusa* (*mor y marb*), c'est-à-dire, en langue celtique, *mer Morte*[2].

1. Spallanzani; von Hoff; Smyth.
2. Von Maack, *Zeitschrift für die Erdkunde;* 1860.

Les marins ne font nullement attention aux dénivellations produites par le flux et le reflux : les vents, les courants et les divers météores de l'atmosphère sont les seuls phénomènes qu'ils observent. Sur la côte occidentale de la péninsule du Jutland, la marée n'est déjà plus en moyenne que de 30 centimètres; à l'entrée du Cattegat, elle perd encore en force et en régularité, et dans les détroits du Sund et des deux Belt, elle est difficile à reconnaître. Dans le port de Copenhague, on peut distinguer parfois une oscillation de quelques centimètres, mais seulement lorsque le temps est parfaitement calme et que la surface de l'eau est à peine ridée. A Wismar, les phénomènes de la marée sont encore plus incertains, et c'est uniquement par une suite d'observations poursuivies pendant plusieurs années sur le niveau des eaux, qu'on a pu constater l'existence probable d'un écart total de 8 centimètres entre les hautes et les basses mers; près de Stralsund, la différence est de 4 centimètres seulement, et près de Memel, elle dépasserait à peine 1 centimètre. Les écarts beaucoup plus considérables qui se produisent dans le niveau marin proviennent des vents, des courants ou des alternatives dans la pression de l'atmosphère. On a vu parfois s'opérer des oscillations rapides de près d'un mètre; mais ce sont là des *seiches* semblables à celles du lac de Genève[1]. La seule force des vents suffit aussi quelquefois à exhausser d'un mètre le niveau de la mer dans certains détroits, ainsi que dans les golfes d'Esthonie et de Finlande[2].

Le régime des embouchures fluviales diffère absolument dans les mers à fortes marées, comme l'Atlantique septentrional, et dans les mers à oscillations insensibles, comme la Baltique et la Méditerranée. Dans les estuaires, où la mer s'élève régulièrement deux fois par jour à une grande hauteur, elle passe par-dessus tous les obstacles, barres ou bancs de sable, accumulés à l'entrée des bouches

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs*.
2. Von Sass, *Bulletin de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, t. VIII, n° 6.

des fleuves, tandis que là où le niveau marin reste constamment le même, les digues de vase ou de sable déposées en cordons littoraux entre les eaux douces et les eaux salées ferment toujours l'entrée du lit fluvial. Ainsi le rio Magdalena et l'Atrato, dans la mer des Antilles, le Rhône, le Pô, le Nil, dans la Méditerranée, épanchent leur masse liquide par-dessus des barres qui souvent ont à peine un mètre à l'endroit le plus bas[1], tandis que le fleuve des Amazones, le Saint-Laurent, la Gironde, la Tamise, donnent à toute heure une libre entrée aux navires.

Cette diversité du régime fluvial suivant la hauteur des oscillations de marée qui s'y produisent a les conséquences les plus importantes pour le commerce des régions qu'arrosent les grandes rivières. En général les ports des fleuves sans marées ne peuvent s'établir à l'embouchure même à cause du manque d'eau, et les négociants sont obligés de choisir pour leurs entrepôts une localité située sur le littoral marin, à une certaine distance des bouches ensablées de la rivière. Ainsi Marseille, où s'opèrent presque tous les échanges du grand bassin du Rhône, est construite au bord d'une baie profonde de la Méditerranée, loin des péninsules de vase entre lesquelles se déverse le fleuve; Alexandrie, le grand port du delta égyptien, est à l'ouest de la région alluviale du Nil; Venise est loin des bouches du Pô; Livourne défend son port des approches de l'Arno; Barcelone n'est pas à l'entrée de l'Èbre; Carthagène des Indes et Santa-Marta ne sont en communication avec le grand Magdalena que par des canaux à peine navigables. Les exceptions à cette règle sont peu nombreuses; néanmoins on peut citer Dantzig sur la Vistule, Stettin sur l'Oder, Galatz sur le Danube[2].

Dans les mers à grandes marées, les principaux ports se trouvent, au contraire, non sur le littoral maritime, mais sur les fleuves, et même à une certaine distance de l'embouchure, non loin de l'endroit où le flux remonte deux fois

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.
2. Ernest Desjardins, *De l'embouchure du Rhône*.

par jour, changeant ainsi la rivière en un véritable golfe maritime. Londres, Hambourg, Nantes, Bordeaux, Rouen et tant d'autres grandes cités se sont graduellement bâties, par suite des nécessités du commerce, aussi avant que possible dans l'intérieur des terres, à l'endroit précis où la profondeur de l'eau et la force de la marée permettent aux navires de remonter avec facilité. Toutefois les bâtiments actuels ayant un tirant d'eau plus considérable que ceux de nos ancêtres, nombre de ports de rivières sont devenus insuffisants. C'est ainsi que Londres a dû successivement s'annexer les ports de Deptford, de Woolwich, de Millwall, de Gravesend; Rouen a été graduellement remplacée par le Havre comme port de commerce international, Nantes voit aujourd'hui grandir une cité rivale dans le village de Saint-Nazaire, encore si modeste il y a quelques années. Peut-être aussi le hameau du Verdon, pourvu tôt ou tard de docks, de bassins et de jetées, deviendra-t-il le véritable Bordeaux commercial.

CHAPITRE IV.

LES RIVAGES ET LES ILES.

I.

Modifications incessantes de la forme du littoral. — Les *fjords* de la Scandinavie et des autres contrées rapprochées des pôles.

Cette mer, dont chaque vague contient peut-être des milliards d'organismes vivants, semble animée elle-même d'une énorme et puissante vie. Des reflets toujours changeants, ternes comme la brume ou brillants comme le soleil, éclairent son immense étendue, sa surface se plisse en longues ondulations ou se redresse en lames hérissées; ses rivages sont effleurés par un simple liséré d'écume ou disparaissent sous la masse blanche de la houle brisée; parfois elle fait entendre à peine un faible murmure, et puis elle réunit en un même tonnerre les hurlements de toutes ses vagues heurtées et fracassées par la tempête. Elle est tour à tour riante ou terrible, gracieuse ou formidable. Son aspect fascine. Quand on se promène sur ses bords, on ne peut s'empêcher de la contempler et de l'interroger sans cesse. Éternellement mobile, elle symbolise la vie relativement à la terre impassible et silencieuse qu'elle assiége de ses flots. Et d'ailleurs n'est-elle pas toujours à l'œuvre pour modifier sans relâche le relief des continents après les avoir une première fois formés couche à couche dans la profondeur de ses eaux?

La partie la plus importante des travaux géologiques de l'Océan est cachée à nos yeux; car c'est au fond de ses

abîmes que l'eau dépose la silice, la chaux, la craie et les débris de toute espèce qui constitueront un jour de nouvelles terres; mais du moins nous pouvons assister aux modifications continuelles que le mouvement incessant des eaux marines fait subir aux rivages. Ces modifications sont considérables, et, depuis les siècles historiques, nombre de côtes ont déjà complétement changé de forme et d'aspect. Des promontoires ont été rasés, tandis qu'ailleurs des pointes se sont avancées dans les flots; des îles ont été transformées en écueils, d'autres sont englouties, d'autres encore sont rattachées au continent. La ligne sinueuse du rivage n'a cessé d'osciller, empiétant ici sur les eaux de l'Océan, reculant plus loin vers l'intérieur des continents. L'action de la mer est double : elle remanie constamment les contours de son bassin, soit en rongeant les rochers qui la bordent et en emportant ses plages, soit en rejetant sur la côte les alluvions et les débris de toute nature qu'elle roule dans ses flots. Tout ce qu'elle engloutit d'un côté, elle le rend ailleurs sous une autre forme.

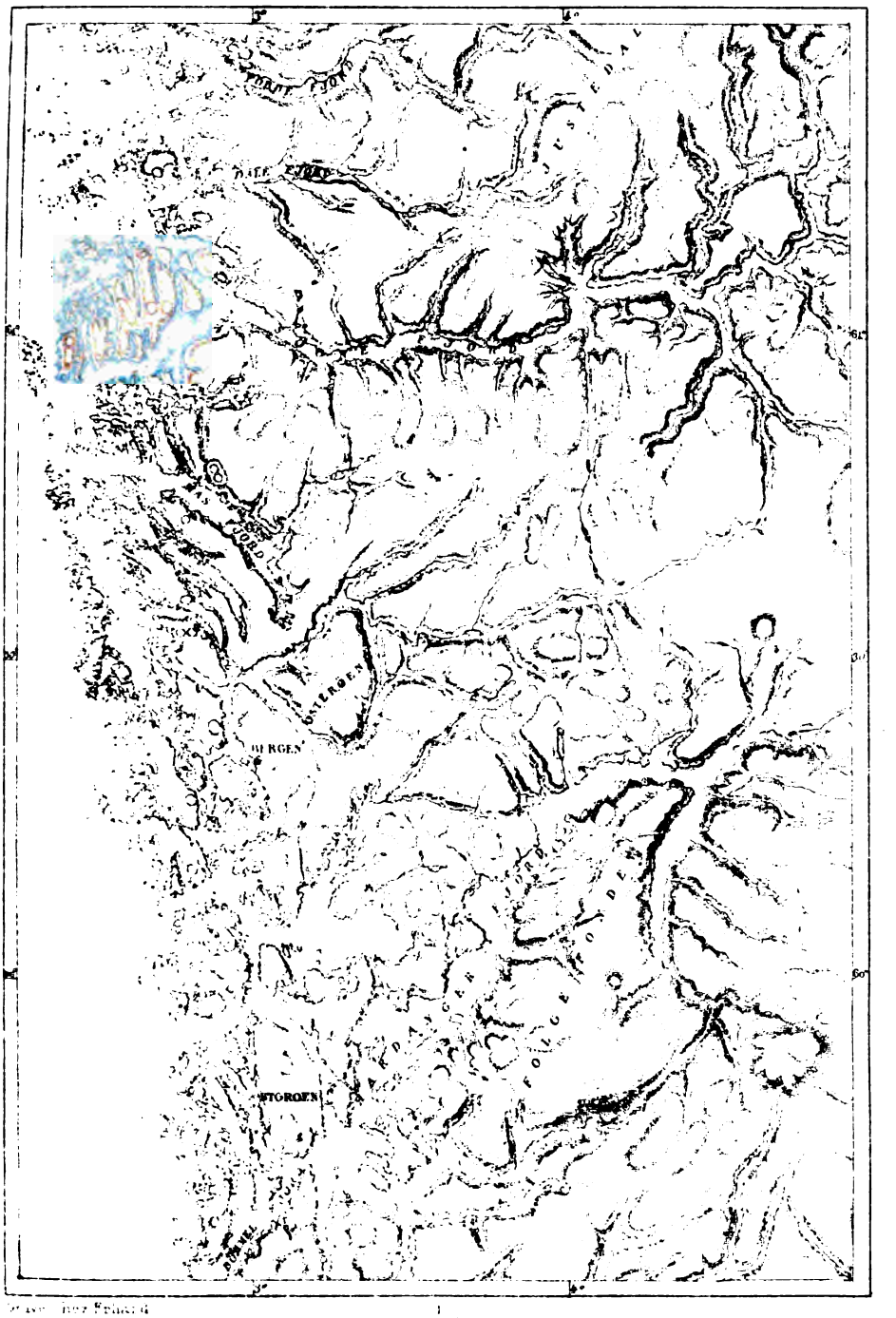
Avant que la mer eût modifié ses rivages en abattant les péninsules et en remplissant les baies et les estuaires, la forme du littoral était certainement beaucoup moins régulière qu'elle ne l'est actuellement sur le pourtour de la plupart de terres. Que, par une brusque révolution, les eaux marines s'élèvent à 100 ou 200 mètres au-dessus de leur niveau, et l'Océan, inondant toutes les vallées des fleuves et des rivières jusqu'à une très-grande distance des rivages actuels, entrera soudain en golfes allongés dans les dépressions du continent, et changera en baies tous les vallons et les gorges latérales. A la place de chacune des embouchures de fleuves qui accidentent à peine la ligne normale de la côte, s'ouvriront de profondes découpures se partageant elles-mêmes en de nombreuses ramifications. Cependant un travail en sens inverse commencerait aussitôt après que ce changement dans le profil des rivages se serait accompli : d'un côté, les cours d'eau apportant leurs alluvions empliraient graduellement les vallées supérieures et rétréciraient

peu à peu le domaine des conquêtes maritimes; d'un autre côté, l'Océan travaillerait aussi, par ses cordons littoraux, ses flèches de sable ou de galets, à retrancher de sa surface toutes ces baies nouvelles que lui aurait données la crue subite de ses eaux. Après un laps indéterminé de siècles, le rivage retrouverait enfin cette forme doucement ondulée qu'offrent aujourd'hui la plupart des côtes.

Il est encore plusieurs contrées où ce double travail de la mer et des eaux continentales est à peine commencé. Ces terres, dont le littoral, gardant ainsi sa forme première, est coupé d'échancrures profondes, sont toutes situées à une grande distance de l'équateur, dans le voisinage de la zone polaire. En Europe, les côtes occidentales de la Scandinavie, du promontoire de Lindes-næs à celui du cap Nord, sont déchiquetées par une série de ces *fjords*[1] ou golfes ramifiés, et non-seulement le rivage du continent, mais aussi toutes les îles qui forment une sorte de chaîne parallèle aux plateaux norvégiens sont frangées de péninsules et tailladées de petits fjords, se contournant en allées immenses. Parmi ces entailles, qui décuplent en longueur le développement des côtes et donnent au littoral une bordure d'innombrables presqu'îles plus ou moins parallèles, les unes sont assez uniformes d'aspect et ressemblent à d'énormes fossés creusés dans l'épaisseur du continent, les autres se divisent en plusieurs fjords latéraux, qui font de l'ensemble des eaux intérieures un labyrinthe presque inextricable de canaux, de détroits et de baies. Le développement total des côtes est tellement accru par ces indentations, que le littoral occidental de la péninsule, dont la longueur en droite ligne n'est pas même de 1,900 kilomètres, se trouve porté à près de 13,000 kilomètres par les plis et les replis du rivage : c'est plus que la distance de Paris au Japon.

Les plateaux de la Scandinavie se terminant brusquement au-dessus de la mer du Nord, les pentes qui dominent les sombres défilés des fjords sont presque toutes très-

1. En anglais *firth*.



Gravé par Erhard

1/250000
Décimètres

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

escarpées ; il en est qui se redressent en murailles perpendiculaires ou même surplombantes, servant de piédestal à de hautes montagnes. C'est ainsi que le Thorsnuten, situé au sud de Bergen, sur les bords du Hardangerfjord, atteint une élévation de plus de 1,600 mètres, à moins de 4 kilomètres du rivage. Dans mainte baie de la Norvége occidentale, on voit les cascades bondir du haut des falaises et se précipiter d'un jet dans la mer, de sorte que les embarcations peuvent se glisser entre les parois des rochers et la parabole des cataractes mugissantes. Au-dessous de l'eau, les escarpements se continuent aussi dans la plupart des golfes, tellement qu'en certains défilés de rochers, dont la largeur de falaise à falaise est de 200 ou de 100 mètres seulement, il faut jeter la sonde jusqu'à 500 ou 600 mètres de profondeur avant de toucher le roc[1]. Dans les *Travailleurs de la Mer*, Victor Hugo cite à bon droit le Lysefjord comme la plus

LYSEFJORD.

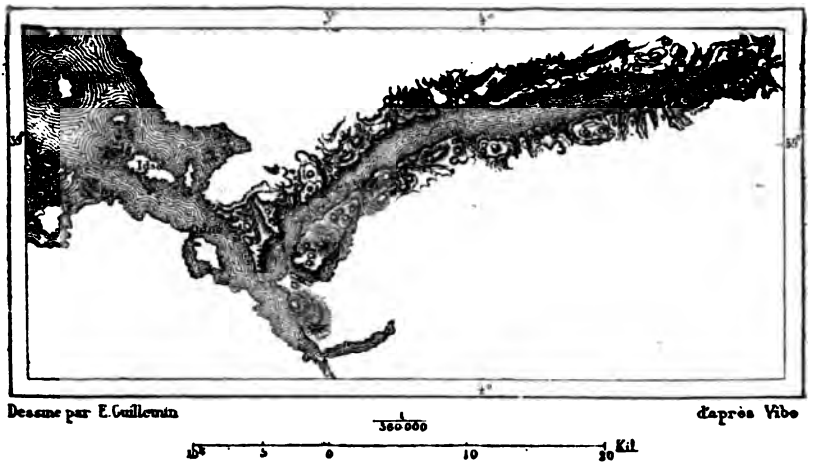


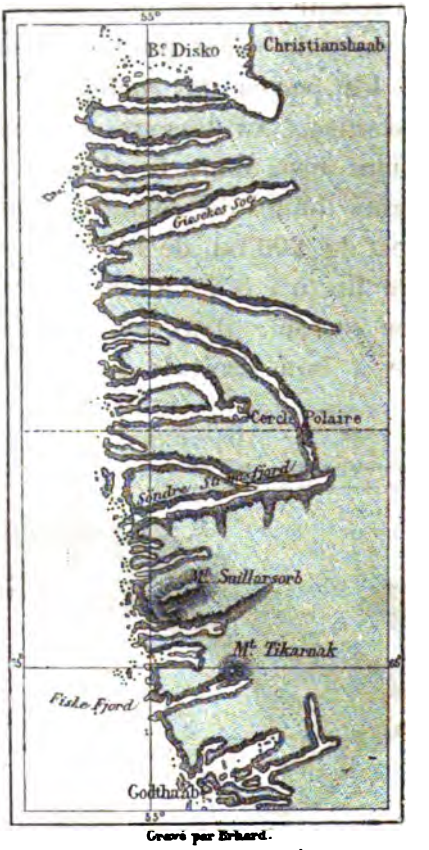
Fig. 49.

effrayante à contempler parmi ces sinistres avenues, dont plusieurs sont à jamais privées d'un rayon de soleil par les hautes murailles de rochers qui les enferment. Cet énorme fossé, d'une régularité presque parfaite, pénètre à 43 kilo-

1. Berghaus, *Was man von der Erde weiss*, p. 280.

mètres dans l'intérieur du continent; bien qu'en divers endroits il offre à peine 600 mètres de largeur, ses parois se dressent à 1,000 et 1,100 mètres d'élévation, et tout près du bord, la sonde ne touche le sol qu'à plus de 400 mètres[1].

FJORDS DU GROENLAND.



Gravé par Erhard.

Fig. 50.

Sans doute, le premier marin qui vogua sur les eaux tranquilles et noires de cet abîme dut avancer avec une certaine horreur, se demandant à chaque nouveau détour de l'avenue s'il n'allait pas voir se dresser devant lui quelque effroyable dieu. Maintenant encore ce n'est point sans frissonner qu'on

1. Vibe, *Küsten und Meer Norwegens; Mittheilungen von Petermann*, 1860.

pénètre dans ce défilé sinistre, où les anciens auraient vu l'entrée des enfers.

Les îles du Spitzberg, les Feröer, les Shettland présentent aussi sur leur pourtour des centaines de fjords, pareils à ceux de la Scandinavie. Les côtes de l'Islande, du Labrador et du Groenland occidental, celles des îles de l'archipel polaire, enfin le littoral américain du Pacifique, de la longue péninsule d'Aliaska au labyrinthe des îles de Vancouver[1], ne sont pas moins riches en découpures que le littoral de la Norvége. De même les rivages de l'Écosse sont profondément découpés, mais seulement du côté de l'ouest, où se trouvent en outre l'archipel des Hébrides et d'autres îles nombreuses reproduisant en miniature le dédale des promontoires et des baies de la grande terre; la partie de l'Irlande tournée vers la haute mer se développe également en une succession de péninsules rocheuses séparées par des golfes étroits; mais au sud et à l'est, les côtes de cette île sont beaucoup moins accidentées de formes et se déroulent en longues courbes régulières. Les rivages méridionaux et orientaux de l'Angleterre ont aussi des contours bien plus arrondis que les rivages tournés vers l'ouest, quoique la mer y exerce une force d'érosion bien plus active[2].

En France, on ne trouve guère de vestiges d'échancrures pareilles à celles des fjords norvégiens, si ce n'est à l'extrémité de la Bretagne; aussi n'existe-t-il même pas de nom dans la langue pour désigner ces indentations. De même, en Espagne, la partie de la péninsule tournée vers le nord-ouest, et où s'ouvrent les ports du Ferrol et de la Coruña, est la seule qui présente quelques traces de fjords à demi comblés. Aux bords de la Méditerranée, deux contrées ont aussi leurs côtes découpées en fjords partiellement oblitérés par les alluvions : ce sont l'Asie Mineure et la Dalmatie, dont les hautes montagnes, jadis couvertes de glaciers, dominent d'étroites baies aux bizarres découpures,

1. Robert Brown, *Mittheilungen von Petermann*, 1869.
2. Voir ci-dessous, page 172.

comme les Bouches de Cattaro; mais le long de ces deux côtes, les péninsules du littoral sont encore uniformément tournées vers l'ouest.

Au sud de l'Adriatique et de l'Archipel, sur le littoral des terres chaudes ou torrides, on ne voit plus de fjords, excepté peut-être dans le groupe de Granada et des Grenadilles, entre

BOUCHES DE CATTARO.

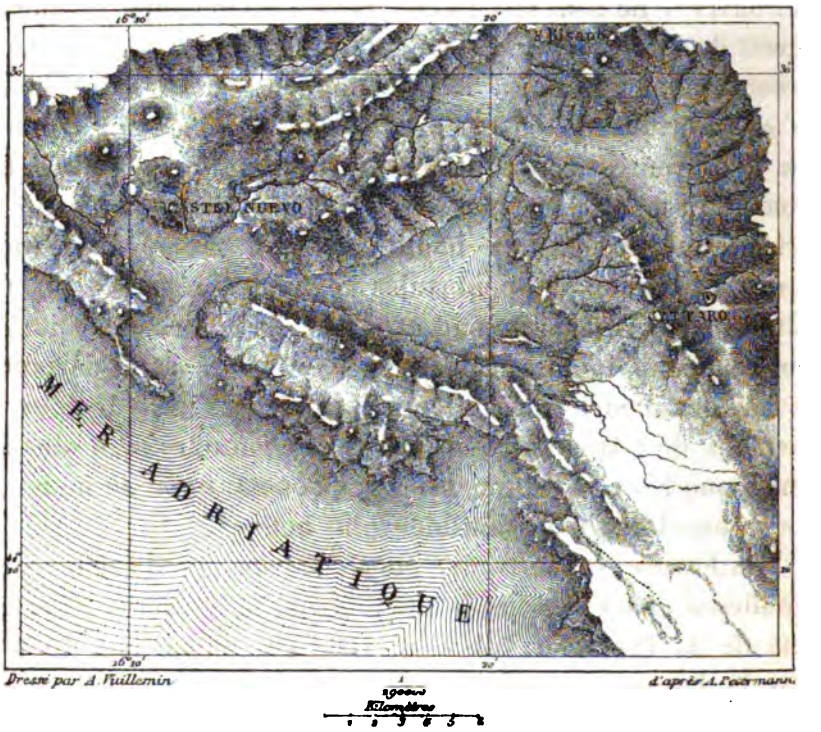


Fig. 51.

l'Atlantique et la mer du Venezuela. Pour retrouver une semblable formation des rivages, il faut traverser l'Amérique entière jusqu'à l'extrémité méridionale du continent : les fjords bien caractérisés ne recommencent qu'au delà du littoral uniforme du Chili, avec l'île de Chiloë, ses nombreuses baies et le réseau des détroits de l'archipel de Magellan et de la Terre-de-Feu. C'est, dans l'hémisphère austral, la seule région où se montre ce phénomène étonnant de tortueuses et profondes

vallées remplies par les eaux de la mer. Quant aux terres du continent antarctique, on ne peut en reconnaître les indenta-

FJORDS DE L'AMERIQUE DU SUD

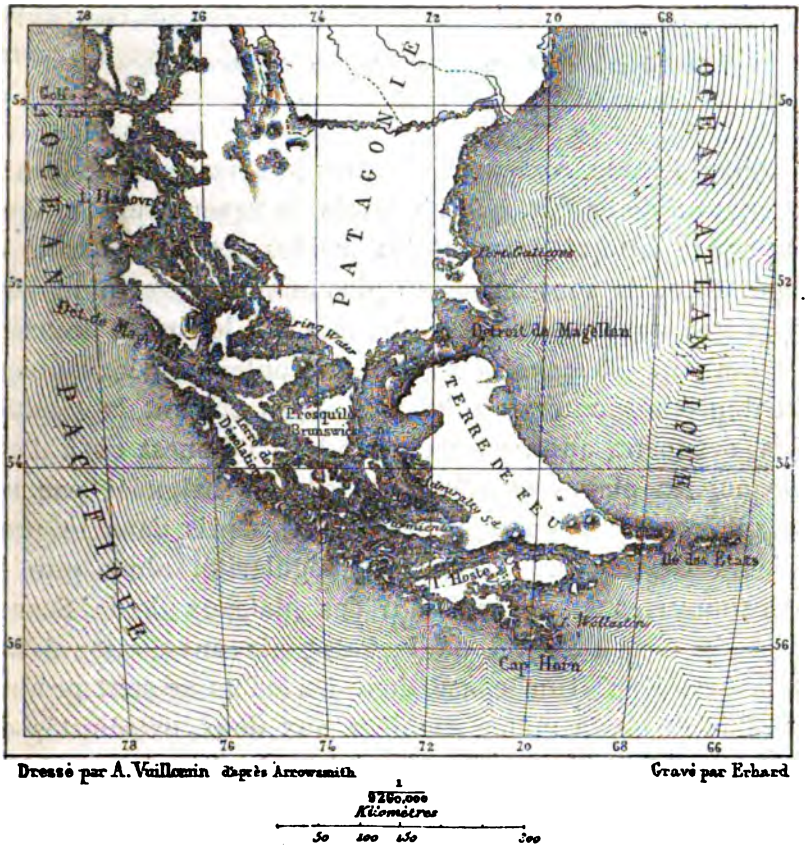


Fig. 52.

tions, puisque les contours des baies et des caps, des golfes et des presqu'îles sont en grande partie oblitérés par les glaciers et par les banquises.

II.

Comblement des fjords par les alluvions marines et fluviales.

Ainsi l'étude comparée de tous les rivages amène à la constatation de ce fait, que les fjords se rencontrent uniquement sur le littoral des contrées froides, et qu'à égalité de température, ils sont beaucoup plus nombreux et plus développés sur les côtes occidentales que sur les rives tournées vers l'orient. Pourquoi cet étrange contraste géographique s'est-il produit entre les divers rivages suivant la position qu'ils occupent au nord ou au midi, à l'ouest ou à l'est? Pourquoi les plages et même les falaises baignées par une atmosphère chaude ou tempérée ont-elles pris dans le profil de leurs courbes une si grande régularité, alors que les vallées ouvertes dans l'épaisseur des plateaux de la Scandinavie, du Groenland et de la Patagonie ont conservé leur forme première? Une cause dont les effets se sont produits à la fois et de la même manière aux deux extrémités des continents, dans les terres boréales de l'Amérique et de l'Europe et dans les îles magellaniques, doit avoir été nécessairement un grand phénomène géologique agissant pendant tout un âge de la planète.

Ce phénomène était le climat spécial qui, pendant la période glaciaire, se faisait jadis sentir à la surface du globe et transformait en longs fleuves de glace les névés des montagnes. La carte parle elle-même pour ainsi dire; elle raconte clairement comment les fjords, ces antiques découpures du littoral, ont été maintenus dans leur état primitif par le séjour prolongé des glaciers[1]. En effet, la période de

1. Voir, dans le premier volume, *les Neiges et les Glaciers*, et, dans *la Revue des Deux Mondes*, 1er mars 1867. — Oscar Peschel, *Ausland*, 1866. — Robert Brown, *Mittheilungen von Petermann*, 1869.

froid dont on voit encore les témoignages non équivoques jusque sous les tropiques et sous l'équateur, au pied des Andes et dans la vallée de l'Amazone, a naturellement duré plus longtemps dans le voisinage des pôles que sous la zone torride et dans les régions tempérées. Cette période glaciaire, terminée peut-être depuis des milliers de siècles sur les plages brûlantes du Brésil et de la Colombie, a cessé sur les côtes de France et d'Angleterre depuis une époque relativement récente. A un âge encore plus rapproché de nos temps historiques, les fjords de la Scandinavie se sont à leur tour dégagés des glaciers qui les remplissaient, et tout à fait dans l'extrême nord et dans les régions antarctiques, il est des contrées où les fleuves de glace descendent encore jusqu'à la mer et s'étalent au loin dans les golfes. Le glacier de la baie de Madeleine, qu'ont exploré MM. Martins et Bravais, se projette au loin dans un fjord qui n'a pas moins de 100 mètres de profondeur, et la falaise terminale de glace, poussée en avant par le poids des neiges supérieures, se déploie en une ligne courbe tournant sa convexité vers la haute mer. Sur des côtes encore plus froides, comme au nord du Groenland, et de l'autre côté du monde, sur le pourtour des terres antarctiques, les baies sont même entièrement comblées par les glaces, et celles-ci, débordant au large, donnent un profil régulier à l'ensemble des côtes. Les vagues de la haute mer viennent se heurter contre un long mur de cristal, dont les assises glacées déguisent la vraie forme de l'architecture des continents, comme le font sous d'autres climats les alluvions fluviales et les flèches de sable marin. Pourtant des vallées cachées par la banquise découpent aussi le littoral de ces côtes polaires, et dans une période géologique future, lorsque les glaces auront disparu, ces indentations du continent deviendront à leur tour des fjords semblables à ceux de la Scandinavie.

A l'époque où les baies de la Norvége étaient comblées par les glaces, comme le sont de nos jours celles du Groenland septentrional, elles gardaient leur forme primitive, si ce n'est que les parois latérales et les roches du fond étaient

striées et polies par le frottement de la masse et des débris qu'elle entraînait. Les éboulis de pierre tombés sur les névés et sur le champ du glacier, les amas de cailloux et de terre enlevés par les intempéries et le dégel aux flancs des montagnes, formaient des moraines exactement semblables à celles que l'on voit de nos jours sur les glaciers amoindris des monts Scandinaves; mais ces moraines, au lieu de s'écrouler avec les glaces dans quelque vallée des montagnes de l'intérieur, étaient portées jusqu'au débouché des fjords dans la haute mer et s'abîmaient au milieu des flots avec les pans détachés du glacier lui-même. Les éboulis successifs de roches et de cailloux devaient nécessairement élever peu à peu une moraine frontale sous-marine, et l'on trouve en effet à l'entrée de tous les fjords scandinaves des écueils de débris se dressant comme des remparts hors de l'eau profonde. Les marins de la Norvége donnent le nom de « ponts de mer » à ces barrages naturels qui servent de limite aux anciens glaciers et où les poissons des eaux voisines se rassemblent par myriades. Au large des côtes de l'Écosse occidentale, de même qu'à l'entrée des petits golfes du Finistère, on remarque aussi des cordons de bancs sous-marins et de récifs qui ne sont probablement autre chose que d'anciennes moraines glaciaires.

Après la période qui précéda les âges actuels, les glaciers de la Scandinavie reculèrent peu à peu dans l'intérieur des fjords, puis cessèrent de toucher le niveau de la mer, et leur extrémité inférieure remonta de plus en plus avant dans les vallées ouvertes sur le flanc des monts. C'est alors que commença pour les torrents et pour la mer l'immense travail géologique du comblement des baies. Les eaux fluviales apportent leurs alluvions et les déposent en plages unies au pied des montagnes, tandis que la mer étale en nappes de sable ou de vase tous les débris des rochers qu'elle sape de ses vagues. Déjà dans un grand nombre de fjords norvégiens, cette œuvre de transformation du domaine des eaux en terre ferme a fait des progrès très-sensibles, et si l'on connaissait le taux séculaire de l'accrois-

sement des plages, on pourrait calculer à peu près l'époque à laquelle la vallée s'est trouvée libre de glaces. Sur le versant incliné du côté de l'est, vers les campagnes de la Suède, un travail analogue s'accomplit : là, les glaciers ont été remplacés, non par les flots de la mer, mais par des eaux lacustres étagées en bassins, et ces eaux reculent aussi peu à peu devant les alluvions des torrents. De même, du Tanaro au Tagliamento, sur vingt-sept vallées des Alpes, inclinées vers les plaines de la Lombardie, sept, qui furent autrefois les lits de puissants glaciers [1], sont devenues des sortes de fjords continentaux : tels sont les lacs Majeur, d'Iseo, de Lugano, de Côme, de Garde [2]. Ces bassins lacustres sont fermés au midi par de larges moraines pareilles aux « ponts de mer » de la Norvége, et leurs eaux, comme celles des fjords, sont graduellement déplacées par les alluvions qu'apportent les torrents alpins.

Situées plus au sud que les fjords de la Scandinavie, et plus rapprochées de la source du tiède courant venu des Antilles, les baies occidentales de l'Écosse ont dû être libres de glaces bien avant les côtes de la Norvége, et c'est antérieurement encore que ces échancrures du littoral de l'Irlande et de la Bretagne française ont cessé de servir de lits aux neiges solidifiées des montagnes environnantes. Quant aux rivages des îles Britanniques tournés à l'est vers la mer du Nord, ils étaient certainement débarrassés de glaces depuis longtemps, car à cette époque comme aujourd'hui les vents d'ouest et du sud-ouest dominaient en Europe et portaient les pluies sur les pentes des montagnes inclinées vers l'Atlantique ; sur le versant opposé les glaciers se sont fondus plus tôt à cause du manque de l'humidité nécessaire. Telle est la raison du frappant contraste qu'offrent dans les îles Britanniques et en Islande les côtes occidentales, toutes découpées de baies profondes, et les rivages orientaux, dont les fjords sont moins accusés ou même complète-

1. Gastaldi, *Atti della Academia delle Scienze*, Marzo 1868.
2. Oscar Peschel, *Ausland*, 1866.

ment oblitérés par les alluvions. De même au sud de l'Amérique, les pluies étant beaucoup plus abondantes sur le versant occidental des montagnes de la Patagonie, les glaciers sont descendus beaucoup plus bas dans les vallées, et

ANCIENS FJORDS DE L'ITALIE SEPTENTRIONALE.

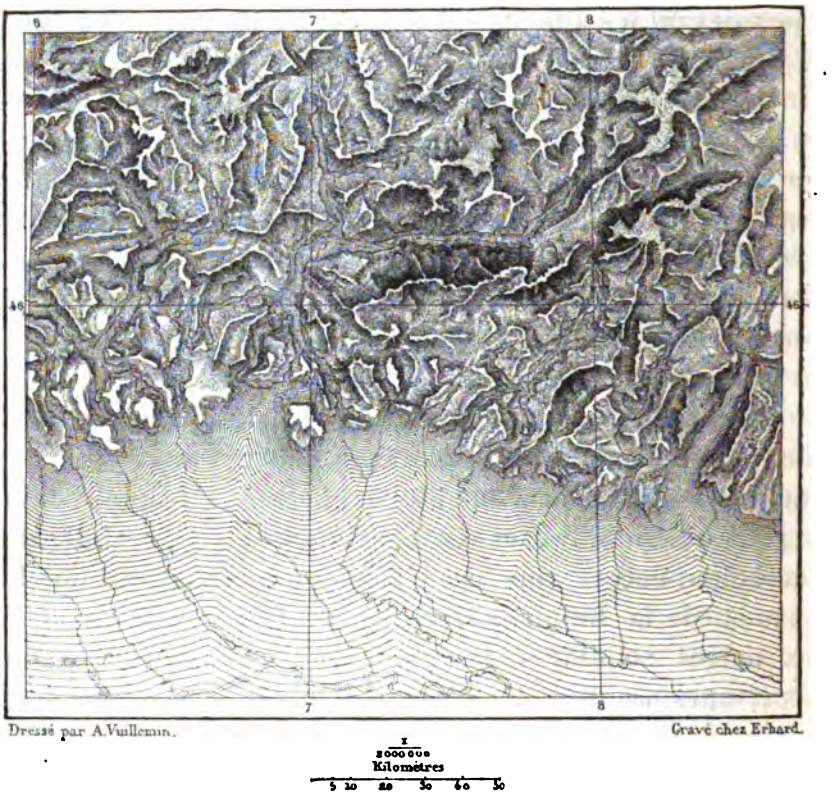


Fig. 53.

les fjords, maintenus par les glaces dans leur état primitif, font encore de toute cette partie du littoral américain un véritable labyrinthe. C'est par les mouvements de l'atmosphère qu'il faut expliquer la forme des continents.

Après le recul des glaciers, le travail de régularisation des rivages s'opère dans les diverses contrées avec plus ou moins de rapidité, suivant la forme des continents, la profondeur des fjords et tout l'ensemble des phénomènes qui constituent le milieu géographique. En certaines contrées où

les rivières n'ont qu'une faible importance, comme dans la péninsule du Danemark et dans le Mecklembourg, les fjords se ferment d'abord du côté de la mer et deviennent de longues et étroites lagunes séparées des flots salés par des

FJORDS DU SUD-EST DE L'ISLANDE.

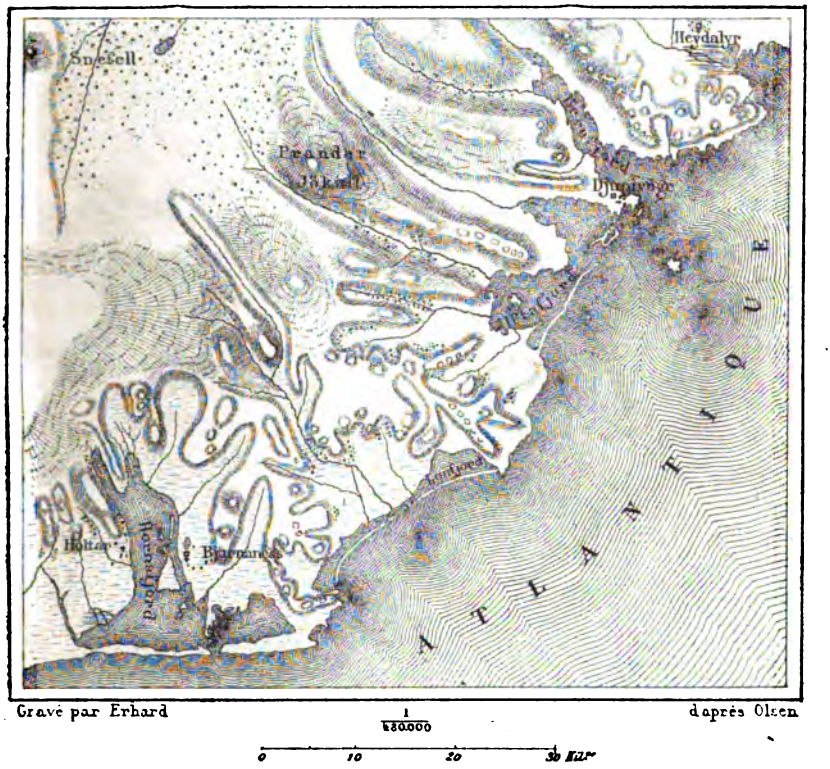


Fig. 51.

plages sablonneuses. Les golfes où débouchent de grands fleuves sont au contraire graduellement comblés par les alluvions dans les parties les plus éloignées de l'Océan et se changent peu à peu en estuaires. Enfin beaucoup de rivages, entre autres ceux de l'Islande orientale, offrent à côté les uns des autres un grand nombre de fjords qui se rétrécissent à la fois en amont et en aval par les apports de la mer et ceux des ruisseaux de l'intérieur. C'est ainsi que des multitudes d'anciens golfes en Scandinavie, en Angleterre, en France, se sont graduellement changés en terre

ferme. Les golfes de Christianssand en Norvége, de Carentan en France, projetaient jadis dans tous les sens des baies pro-

FJORDS COMBLÉS DE CHRISTIANSSAND.

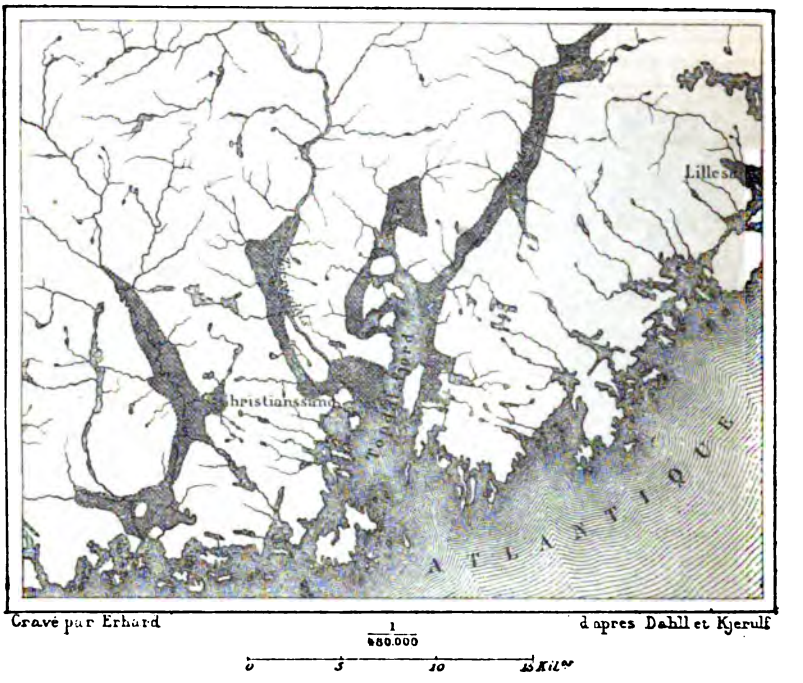


Fig. 55.

fondes, dont la place est occupée aujourd'hui par des cultures et des marais.

Quelle que soit la diversité des moyens employés par la nature pour combler les anciennes baies glaciaires, le travail s'accomplit en son temps, et l'on constate que des régions tempérées à la zone équatoriale les courbes des rivages ont une régularité croissante. Aux innombrables ports qui pénètrent dans l'intérieur des terres septentrionales succèdent au midi des rivages maritimes de plus en plus inhospitaliers, à cause du manque d'indentations, et, sur les côtes de la zone torride privées d'embouchures fluviales, c'est jusqu'à des centaines de lieues que les vaisseaux doivent longer les côtes avant de trouver un havre de refuge. Ce sont les trois continents les plus rapprochés de

l'équateur, l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Australie, qui offrent sur leur pourtour le développement de côtes le plus uniforme et le plus dépourvu de baies.

LES ANCIENS FJORDS DE CARENTAN.

Fig. 56.

Si l'on peut, à bon droit, considérer chaque glacier comme un thermomètre naturel indiquant par ses progrès et ses reculs les changements de la température locale, de même on peut voir dans l'ensemble des côtes des fjords du Groenland et de la Norvége aux longues plages de l'Afrique équatoriale, comme une représentation visible des

changements de température qui ont eu lieu à la surface du globe depuis la période glaciaire. Que, par de longues et patientes études, on parvienne à mesurer le temps qu'il faut aux alluvions de la mer et des fleuves pour modifier ainsi la forme des vallées jadis remplies par les glaces, et l'on pourra fixer la durée des temps modernes qui ont succédé à cet âge antérieur de la terre. Ce terme vague d'époque ou de période qui, suivant les divers géologues, se compose de milliers ou de millions d'années, prendra, du moins pour les temps rapprochés de nous, un sens plus précis et se rangera comme les siècles dans la chronologie des hommes.

II.

Destruction des falaises. — Les côtes de la Manche. — Le Pas-de-Calais. — Action des galets et des sables. — Marmites de géants. — Puits jaillissants des côtes. — Puits à « mareyage. »

Bien qu'il y ait nécessairement équilibre entre l'œuvre de démolition et celle de reconstruction, cependant on serait tenté de croire à première vue que la mer se plaît surtout à détruire. En contemplant les falaises, ces murailles à pic qui, sur diverses côtes, se dressent à plusieurs centaines de mètres au-dessus du niveau de la mer, on se demande avec effroi comment les assauts répétés des vagues ont pu suffire pour tailler ainsi les montagnes et les coteaux dont les bases doucement inclinées se baignaient autrefois dans le flot. Du haut de ses falaises, on voit à ses pieds l'Océan tumultueux étalé comme une surface plane et l'on ne distingue plus les vagues que par leurs reflets, les brisants que par leur guirlande d'écume; les bruits multiples des flots se fondent en un long murmure qui s'éteint, puis renaît pour s'éteindre encore. Et pourtant cette eau qu'on aperçoit en bas à une si grande profondeur, et qui semble impuissante contre le

rocher solide, a renversé, tranche par tranche, toute la fraction de colline ou de montagne dont la falaise n'est que l'escarre gigantesque; puis, après avoir graduellement abattu ces énormes assises, elles les a réduites en poussière et en a fait disparaître les traces. Souvent il ne reste plus même d'écueil à l'endroit où se dressaient les promontoires. Les phénomènes constatés, même durant la courte vie de l'homme, sont des faits si grandioses dans leur marche et si remarquables dans leurs effets, qu'un savant anglais, le capitaine Saxby, a proposé d'en faire une science spéciale, l'*ondavorologie*[1].

Pour avoir une idée de la force destructive exercée par les flots de l'Océan, il suffit de les contempler, par un jour de tempête, du haut des falaises crayeuses de Dieppe ou du Havre. A ses pieds, on voit l'armée des vagues blanchissantes se ruer à l'assaut des rochers. Poussées à la fois par le vent du large, la marée et le courant latéral, elles bondissent par-dessus les écueils et les talus du bord et viennent frapper obliquement la base des falaises. Leur choc fait trembler les énormes murailles jusqu'à la cime, et leur fracas se répercute dans toutes les anfractuosités par un tonnerre incessant. Projetée dans les fentes du roc avec une terrible force d'impulsion, l'eau délaye toutes les matières argileuses ou calcaires, déchausse peu à peu les blocs ou les assises plus solides, les arrache d'un coup, puis les roule sur la grève et les brise en galets qu'elle promène avec un bruit formidable. A travers le tourbillon d'écume bouillonnante qui assiége le rivage, on ne fait qu'entrevoir l'œuvre de démolition; mais les vagues sont tellement chargées de débris, qu'elles offrent jusqu'à l'horizon une couleur noirâtre ou terreuse.

Quand la tourmente a cessé, on peut mesurer les empiétements de la mer et calculer les milliers de mètres cubes de pierre engloutis et transformés en galets et en sable. Vers la fin de l'année 1862, pendant l'une des plus

1. *Nautical Magazine*, janv. 1864.

terribles tempêtes du siècle, M. Lennier a vu la mer abattre les rochers de la Hève sur une épaisseur de 15 mètres. Depuis l'année 1100, les eaux de la Manche, aidées par les pluies, les gelées et les autres intempéries qui agissent fortement sur les assises supérieures, ont entamé cette falaise de plus de 1,400 mètres, soit de 2 mètres par an. L'endroit où se trouvait jadis le village de Sainte-Adresse, reculant toujours devant le flot, est remplacé maintenant par le banc de l'Éclat[1]. M. Bouniceau, l'un des savants qui ont le mieux étudié les phénomènes de l'érosion des rivages, évalue à un quart de mètre au moins la fraction de falaise qui est enlevée en moyenne par la mer aux côtes du Calvados, tandis que sur les côtes de la Seine-Inférieure on ne peut considérer l'érosion annuelle comme moindre de 30 centimètres.

Sur les côtes méridionales et orientales de l'Angleterre, les envahissements de la mer ont lieu avec une rapidité égale ou même supérieure, car, en général, les fermiers comptent sur une perte d'environ 1 mètre de terre par an le long de la falaise[2]. A l'est de la péninsule de Kent, les eaux se sont avancées de plus de 6 kilomètres vers l'ouest depuis la période romaine. Dans leurs envahissements successifs, elles ont submergé les vastes domaines du comte saxon Goodwin, et les ont remplacés par les redoutables Goodwin-Sands, où tant de navires se perdent chaque année, puis elles ont transformé en une grande rade ouverte l'étroite lagune des Downs. D'après les calculs de M. Marchal[3], la masse totale des rochers que brisent et dévorent chaque année les eaux de la Manche orientale est d'environ 10 millions de mètres cubes.

Le Pas-de-Calais, de même que le détroit de Gibraltar, ne cesse de s'élargir actuellement sous la triple action des météores, des vagues de tempête et du courant qui sort d'une

1. Lamblardie; — Baude, *Revue des Deux Mondes*.
2. Beete Jukes, *School Manual of Geology*, p. 90.
3. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1er sem., p. 201.

mer pour se porter dans l'autre. Les patientes recherches de

RADE DES DOWNS.

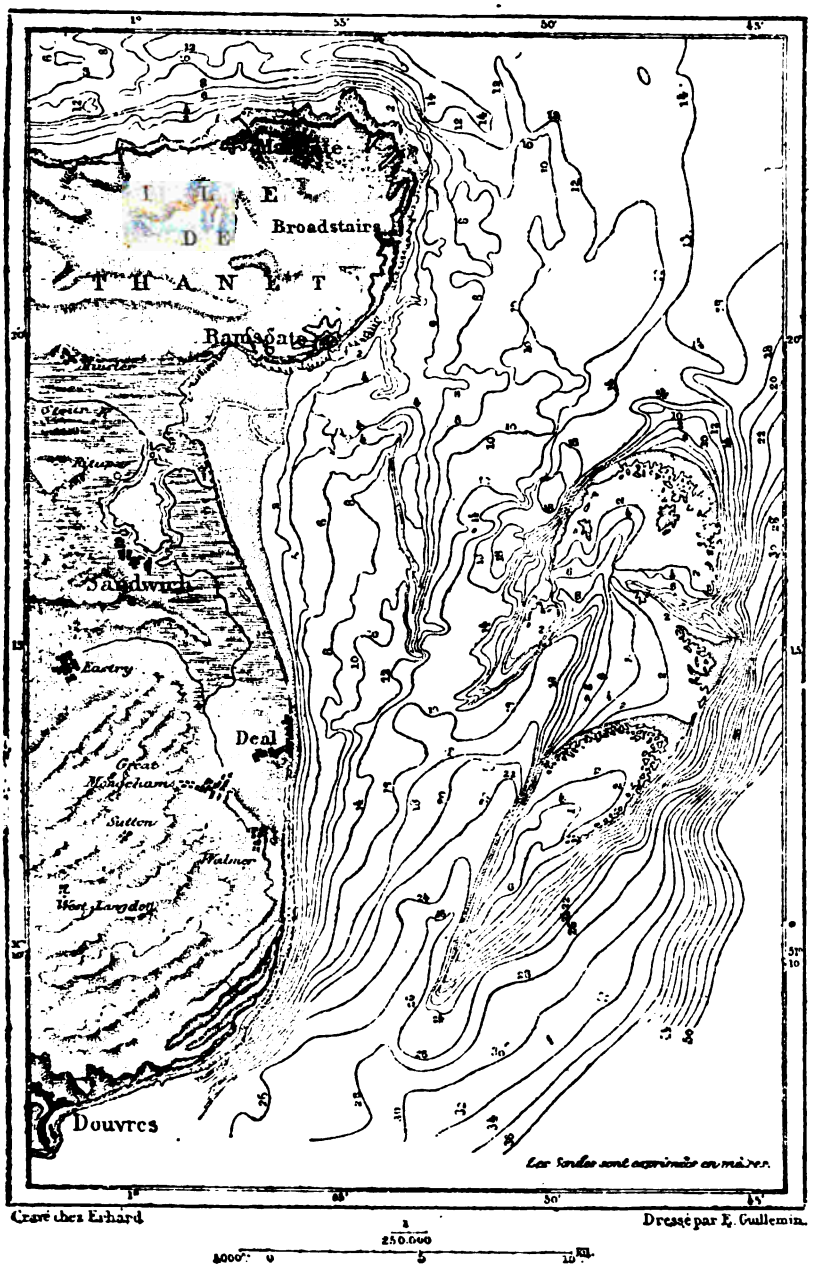


Fig. 57.

M. Thomé de Gamond, ingénieur auquel on doit un beau pro-

jet de tunnel international entre la France et l'Angleterre, ont prouvé que la falaise de Gris-Nez, le point des côtes françaises le plus rapproché de la Grande-Bretagne, recule en moyenne de 25 mètres par siècle. Si, dans les âges antérieurs, le progrès des érosions n'a pas été plus rapide, ce serait environ soixante mille années avant l'époque actuelle que l'isthme de jonction rattachant l'Angleterre à la terre ferme aurait été rompu par la pression des flots; toutefois il est impossible d'indiquer une date quelconque, puisqu'en cet endroit le sol s'est affaissé et soulevé à diverses reprises : des forêts submergées et d'anciennes plages, supérieures de 4 à 5 mètres au niveau actuel de la mer, témoignent de ces oscillations successives[1].

Le long des côtes de France, à l'est du cap d'Antifer, les galets écroulés des falaises, constamment réduits en grosseur par le mouvement des flots qui les froissent les uns contre les autres, ne cessent de cheminer vers l'embouchure de la Somme. Arrêtés, à dix kilomètres au delà des dernières falaises à silex, par le promontoire du Hourdel, ainsi nommé du *heurt* des flots, ils sont ensuite repris par le courant qui se porte vers le détroit; de plus en plus triturés, ils voyagent de banc de sable en banc de sable, puis, après avoir franchi le Pas-de-Calais, ils vont se déposer en nuages de vase, soit à la surface des innombrables bancs de la mer du Nord, soit sur les rivages des Flandres, de la Hollande et de l'Angleterre orientale : ce sont les dépôts auxquels on donne le nom expressif de *gain de flot* dans les parages de la Manche. Les dix millions de mètres cubes de débris enlevés annuellement aux falaises de Sussex et de Kent, ainsi qu'à celles du Calvados et du pays de Caux, sont reportés sur le littoral des pays du nord : c'est aux dépens des côtes de la Manche que se forment les *polders* de la Hollande et les *fens* de Norfolk et du Lincolnshire. Par suite de ce double travail, d'érosion sur un point et de dépôt sur un autre, les rivages situés au nord du détroit offrent un

1. Day, *Geological Magazine*, mars 1866.

contraste parfait avec les côtes de la Manche. Tandis qu'aux bords de cette mer, les falaises de France et d'Angleterre sont découpées en baies concaves, les plages qui se prolon-

L'ABERWRAC'H.

Fig. 58.

gent au nord du Pas-de-Calais affectent uniformément une disposition convexe. Le flot rend en sables et en vase ce qu'il a pris en roches et en galets[1].

Il ne faut point croire que ce soit la seule force d'impulsion de l'eau marine qui démolisse les falaises du bord. La masse liquide serait presque impuissante contre les durs rochers si, en approchant de la rive, elle ne se chargeait de

1. Marchal, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1er sem., p. 204.

débris de toute espèce, blocs et galets, sables et coquillages, projectiles que lance chaque vague contre les murs qui la dominent. Se servant des pierres tombées précédemment comme d'autant de béliers d'attaque, le flot les roule sur l'estran jusqu'au pied des falaises, heurte les saillies, les ébranle et finit par les briser et les réduire en sable. Ce sable lui-même, incessamment froissé et refroissé sur les roches, use peu à peu les assises les plus solides et continue ainsi l'œuvre de sape commencée par les galets : ce sont en grande partie les propres débris du promontoire qui servent à le renverser dans la mer. Sur toutes les côtes rocheuses de la Scandinavie, de l'Écosse, de l'Irlande, de la Bretagne, les multitudes d'écueils qui parsèment la mer jusqu'à une grande distance du rivage ne sont autre chose que d'anciennes fondations du continent qui ont été graduellement rasées par les cailloux et par les sables jusqu'au niveau du flot. Du haut d'une colline, sur les côtes de Paimpol, de Morlaix, de l'Aberwrac'h, on peut ainsi distinguer à marée basse quelle était la forme primitive du rivage.

Sur le bord de la mer, aussi bien que dans les fleuves, à la base des cataractes, les excavations profondes et régulières connues sous le nom de « marmites de géant » sont l'un des

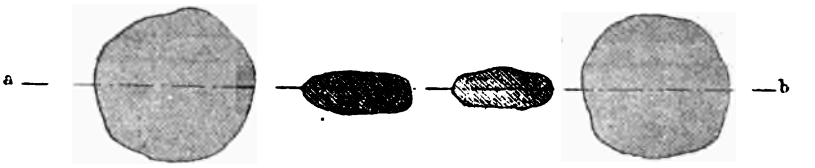


Fig. 59. — Plan des marmites de géants de Haelstolmen; d'après Daubrée.

travaux géologiques les plus curieux accomplis par les blocs épars. Toute pierre reposant librement dans une anfractuosité de la roche où déferlent les vagues creuse, pendant le cours des âges, une espèce de puits dont les parois sont polies et comme rabotées par le frottement. A la longue, ces cavités, où la pierre graduellement arrondie ne cesse d'osciller sur sa base ou de tournoyer avec les sables, acquièrent en profondeur et en largeur une dimension de plusieurs mètres :

ce sont alors, d'après la tradition, les marmites où les géants d'autrefois préparaient leur repas. Il existe de très-remarquables excavations de ce genre sur les côtes de la Scandinavie, où les blocs de granit roulés par une mer furieuse sont retenus par les roches abruptes dans un grand nombre d'anfractuosités.

Un phénomène non moins intéressant que le tournoiement des pierres dans les marmites de géant est la soudaine apparition de colonnes d'eau marine qui s'élancent en jets à travers les fissures du rocher. Quand une grande vague s'engouffre dans une des cavernes fissurées du littoral, son impulsion est parfois telle, que la roche en retentit comme d'une décharge d'artillerie. La masse d'eau chasse l'air devant elle, et, ne trouvant pas dans les parois qui l'entourent et qui la compriment un assez large espace pour se développer, jaillit par les fentes de la voûte. La plupart de ces fissures, graduellement sculptées à nouveau par les colonnes liquides qui s'en échappent, prennent à la longue l'aspect de véritables puits, où chaque retour de la vague est signalé par une sorte de geysir de dimensions variables. Il en est qui jaillissent à plusieurs mètres de hauteur, et qu'on aperçoit d'une grande distance, comme le jet de souffle humide par lequel la baleine se trahit au loin : de là le nom de *souffleurs* donné en plusieurs pays par les marins à ces phénomènes des rivages. Près de Ciudadela, dans l'île de Minorque, deux de ces puits, dans lesquels viennent s'engouffrer les flots, sont appelés par les paysans les « Soufflets du diable. »

La pression de la marée se fait sentir aussi bien que l'impulsion des vagues dans l'intérieur des roches fissurées du littoral ; elle n'a point, il est vrai, pour résultat de lancer de magnifiques fontaines bien au-dessus de la mer, mais elle exhausse le niveau du liquide dans tous les puits assez rapprochés du rivage, même dans ceux qui ne sont emplis que d'eau douce. C'est là du reste ce qu'eût indiqué d'avance la théorie : les nappes liquides qui pénètrent au loin dans les fentes des roches retiennent les eaux d'infiltration

venues de l'intérieur; celles-ci, saumâtres ou douces, restent dans leurs réservoirs et s'élèvent en même temps que la marée, puis, quand le reflux commence, elles reprennent le chemin de la mer et s'y épanchent de nouveau dès qu'a cessé la pression de l'eau montante. Là où les roches de la côte sont fortement fissurées, ce qui est presque partout le cas pour les falaises à strates calcaires, il existe de ces puits à « mareyage » dont l'eau monte et s'abaisse alterna-

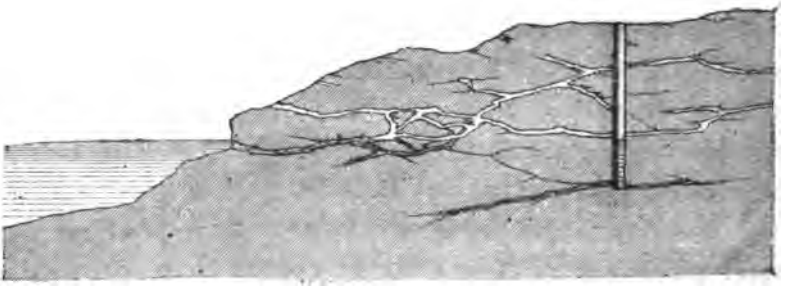


Fig. 60. — Puits à mareyage.

tivement avec la marée. On peut signaler notamment les puits des environs de Royan, sur la rive droite de la Gironde, ceux des côtes de la Finlande, près de Wasa, et des îles Bahama, au large de la Floride. Dans plusieurs de ces îles, tous les puits sans exception sont réglés par le flux de la mer, et les heures auxquelles on doit y chercher de l'eau sont connues d'avance des ménagères [1].

Il est même certains rivages si profondément ouverts du côté de la mer par de larges vides, que les vagues pénètrent à une grande distance dans l'intérieur du continent. On en voit un exemple curieux dans la partie de la Louisiane connue sous le nom des Attakapas. Là, les prairies du littoral, protégées contre les tempêtes du golfe du Mexique par des chaînes de bancs de sable et de longues îles parallèles au rivage, n'ont cessé de gagner incessamment sur l'Océan; mais elles ne sont solides qu'à la surface, et le fouillis de leurs racines est baigné par l'eau de mer qui

1. R. Thomassy, *Bulletin de la Société de Géographie.* 1864.

s'avance au loin dans une baie aux contours invisibles. Les pêcheurs ne craignent pas de s'aventurer sur ces prairies flottantes, en tout semblables à celles des marécages, et c'est en perçant le sol au-dessous de leurs pieds qu'ils s'emparent du poisson caché dans ces retraites.

Toutefois les rivages flottants ne peuvent exister que sur un petit nombre de côtes où les circonstances physiques sont tout exceptionnelles; d'ordinaire c'est par des grottes et des cavernes creusées dans la roche solide que les eaux de l'Océan pénètrent au loin dans les terres. Il n'est pas douteux qu'il n'y ait au-dessous du niveau marin des multitudes de ces galeries rocheuses, mais on connaît seulement celles qui s'ouvrent au ras même des flots, comme la grotte azurée de Capri; plus bas, la masse liquide ferme l'entrée de ces cavernes latérales, qui nous resteront sans doute longtemps inconnues. Mais si l'on ne peut explorer les grottes encore emplies par les eaux de la mer, on voit du moins sur les côtes exhaussées, comme celles de la Scandinavie, d'immenses cavernes que les vagues parcouraient autrefois librement. L'une des grottes les plus imposantes du monde entier est celle qui traverse de part en part le superbe rocher de Torghatten, dressé comme une énorme pyramide de plus de 300 mètres de hauteur sur une île de la Norvége septentrionale. Cette galerie, à travers laquelle les navigateurs voient au passage rayonner la lumière, est d'une étonnante régularité. Les seuils des immenses portes, dont l'une a 71 et l'autre 40 mètres de cintre, se trouvent de chaque côté à une même élévation de 123 mètres au-dessus du niveau de la mer; le sol, recouvert de sable fin, est presque horizontal et forme comme le palier d'un tunnel où les voitures pourraient au besoin rouler; les parois latérales offrent, dans presque toute leur étendue, une surface polie, comme si elles avaient été taillées de main d'homme, et s'élèvent verticalement jusqu'à la naissance du cintre; seulement, vers le milieu de la grotte, la voûte est moins élevée qu'aux deux extrémités. Vus à travers ce gigantesque télescope de 300 mètres de longueur, les promontoires, les

îlots, les innombrables écueils et les mille crêtes blanches des brisants forment un spectacle d'une incomparable beauté, surtout quand le soleil éclaire de ses rayons l'ensemble du paysage[1].

Lorsque le flot de la mer ne peut entrer dans les cavernes éloignées du rivage que par les canaux étroits, il arrive souvent qu'un ruisseau d'eau salée coule régulièrement vers l'intérieur des terres sans jamais revenir à l'Océan. Ce fait bizarre, qui peut sembler au premier abord un renversement des lois de la nature, s'observe en divers points sur le littoral dss contrées calcaires, et notamment sur les côtes de la Grèce et des îles voisines.

Près d'Argostoli, ville commerçante de l'île de Céphalonie, quatre petits torrents d'eau de mer, roulant en moyenne 250 litres d'eau par seconde, pénètrent dans les fissures des falaises, coulent rapidement à travers les blocs qui parsèment le lit de rochers, et disparaissent graduellement dans les crevasses du sol. Deux de ces cours d'eau sont assez considérables pour faire tourner, pendant toute l'année, les roues de deux moulins construits par un Anglais entreprenant. Bien que les cavités souterraines d'Argostoli soient en communication constante avec la mer, et que l'entrée des canaux soit débarrassée soigneusement des algues qui pourraient obstruer le passage ou du moins retarder le courant, les eaux ne se trouvent point dans les grottes à la même hauteur que dans le golfe voisin. C'est que les roches calcaires de Céphalonie, desséchées à la surface par le vent de la mer et par les ardeurs du soleil, sont percées et fendillées dans toute leur épaisseur par d'innombrables crevasses, qui sont autant de cheminées d'appel activant la circulation de l'air et la vaporisation de l'humidité cachée. On peut comparer la masse entière des coteaux d'Argostoli, avec toutes leurs cavernes, à une immense *alcaraza*, dont le contenu s'évapore graduellement à travers l'argile poreuse. Par suite de cette déperdition constante de liquide,

1. Vibe, *Küsten und Meer Norwegens, Mittheilungen von Petermann*, 1860.

le niveau de l'eau est toujours moins élevé dans les cavernes que dans la mer, et, pour rétablir l'équilibre, des ruisselets, qu'alimentent les vagues, descendent incessamment par toutes les fissures vers les réservoirs souterrains. Il est probable que l'évaporation constante de l'eau salée a pour résultat d'accumuler dans les cavités de l'île d'énormes masses salines. Le géologue Ansted a calculé que le débit des deux grands ruisseaux marins d'Argostoli suffirait à former chaque année un bloc de plus de 1,400 mètres cubes de sel[1].

IV.

Affouillement des rochers. — Diversités d'aspect des falaises. — Plates-formes de leurs bases. — Résistance des côtes. — Brise-lames formés par des décombres. — Helgoland. — Destruction des plages basses.

Tous les promontoires rocheux exposés à la violence des orages ou simplement effleurés par un courant sont affouillés à leur base. L'érosion s'accomplit d'une manière plus ou moins rapide, suivant la marche des vagues, la distribution et l'inclinaison des assises, la dureté des roches et la composition chimique de leurs molécules. Les moyens de destruction mis en œuvre dépendent à la fois des diverses conditions hydrologiques et géologiques. Aussi étrange que paraisse cette assertion, l'eau de la mer peut même, dans certains cas, détruire par la combustion les rochers de ses bords. Ainsi les falaises de Ballybunion, sur la côte occidentale de l'Irlande, au sud de l'estuaire du Shannon, présentèrent pendant longtemps l'aspect d'un rempart de lave fumante. Ces rochers, que les laves de l'Atlantique ont percés de grottes et sculptés en massifs de formes bizarres, s'étant écroulés un jour sur une grande étendue, les strates bitumineuses et les pyrites de fer

1. *The Ionian Islands in the year*, 1863.

que leurs strates contiennent en forte proportion furent exposés à l'action de l'atmosphère. Une oxydation rapide des pyrites eut lieu et produisit une chaleur assez intense pour mettre en feu toute la partie bitumineuse de la falaise. Pendant des semaines, les rochers brûlèrent comme un vaste brasier, et des masses de vapeur et de fumée s'élevèrent comme des nuages au-dessus de la haute muraille assiégée par la houle. Épars autour de l'espace où régna l'incendie, on voit des amas de scories fondues et des couches d'argile transformées en briques par la violence du feu[1].

Puisque telle est la diversité des moyens de destruction employés par la nature, on comprend que l'aspect et la forme des côtes rocheuses varie également d'une manière remarquable. Ainsi les falaises de l'Angleterre et de la Normandie, qui sont composées de couches assez friables, s'écroulent de haut en bas quand leurs assises inférieures sont rongées, et leurs parois, rarement interrompues par des « valleuses, » étroites brèches où coulent les ruisseaux temporaires ou permanents, ressemblent à d'énormes murailles de 50 à 100 mètres de hauteur. Dans les îles de la mer Baltique, les rochers crayeux, moins exposés à la furie des tempêtes que ceux de l'Europe occidentale, sont aussi moins abrupts, et des forêts de hêtres descendent comme des nappes de verdure sur les éboulis des falaises. Ailleurs, notamment sur les côtes de la Ligurie, les promontoires, formés de roches calcaires plus dures que la craie, ne s'effondrent point lorsque leurs strates inférieures sont emportées par la mer, et les vagues, fouillant incessamment la base de ces rochers, peuvent y sculpter des colonnades, des portes en arceaux, des galeries cintrées, de vastes grottes où l'eau tremblante éclaire la voûte de ses reflets d'azur. D'autres falaises, dont le promontoire de Socoa, près de Saint-Jean-de-Luz, peut être considéré comme un type, sont composées de roches d'ardoise diversement inclinées vers la mer : rongées par les vagues, quelques plaques schisteuses se détachent, d'autres se courbent et s'écartent

1. William Ainsworth, *Caves of Ballybunion*, Dublin, 1834.

comme les feuillets d'un livre entr'ouvert, et permettent aux flots de se glisser en longues nappes écumeuses jusque dans le cœur de la falaise pour en jaillir ensuite en immenses fusées. Enfin, sur d'autres rivages, les rochers, coupés de failles verticales, sont graduellement isolés les uns des autres et séparés en groupes distincts par l'action des eaux. Entourés par une mer grondante, ils se dressent sur leur base d'écueils comme des tours, de monstrueux obélisques, des arcades gigantesques, des ponts croulants. Tels sont les rocs innombrables qui dominent les flots dans l'archipel des Shettland et dans les Orcades. Noirs, élancés, environnés d'embrun comme par une fumée, ces débris d'anciennes falaises justifient le nom de *chimney-roks* (rocs-cheminées) que les Anglais ont donné à plusieurs d'entre eux. Sur la côte de la Norvége septentrionale, non loin du cercle polaire, s'élève, au milieu des flots, un rocher de plus de 300 mètres de hauteur, qui ressemble à un cavalier géant : de là son nom de Hestmanden.

On le voit, très-diverses de formes sont les falaises que vient ronger le flot de la mer. Toutefois il est permis de dire, en règle générale, que les inégalités des parois sont en raison directe de la dureté des assises. Les rainures que les vagues creusent lentement dans la surface du roc, les cavités qu'elles y fouillent, les arcades et les grottes qu'elles y sculptent sont d'autant plus profondes que la pierre est plus dure, car les couches de formation peu solide s'écroulent dès que les assises inférieures sont érodées. La partie de la falaise qu'humectent seulement l'écume et le brouillard des gouttelettes brisées est moins déchiquetée que la base, et les rainures y sont moins nombreuses; mais la végétation n'y paraît pas encore. Plus haut, quelques lichens donnent à la pierre une teinte d'un gris verdâtre. Enfin les broussailles qui se plaisent à respirer l'air salé de la mer font leur apparition dans les anfractuosités et sur les corniches des rochers. C'est à 35 ou 40 mètres de hauteur que cette végétation commence à se montrer sur les falaises des bords de la Méditerranée [1].

1 Boblaye et Virlet. — G. Gollegno, *Geologia dell' Italia.*

Malgré l'étonnante variété d'aspect que présentent les falaises composées de substances diverses, craie, marbre, granit ou porphyre, cependant on observe un trait de ressemblance singulière dans la forme des roches que recouvrent les eaux de la mer au pied des abruptes parois. Ce trait de ressemblance consiste dans l'existence d'une ou deux plates-formes, de dimensions variables, situées à la base des escardements. Sur les rivages de la Méditerranée et des autres mers à faible marée, où le niveau des eaux ne varie guère que sous l'influence des vents et des tempêtes, il n'existe

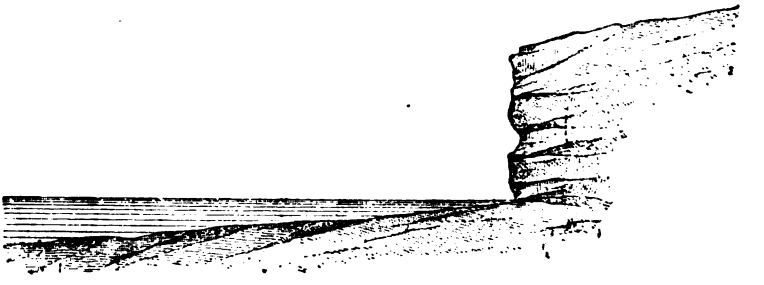


Fig. 61. — Falaise méditerranéenne.

qu'une seule de ces plates-formes, tandis que sur les côtes de l'Océan, là où les marées atteignent une amplitude de

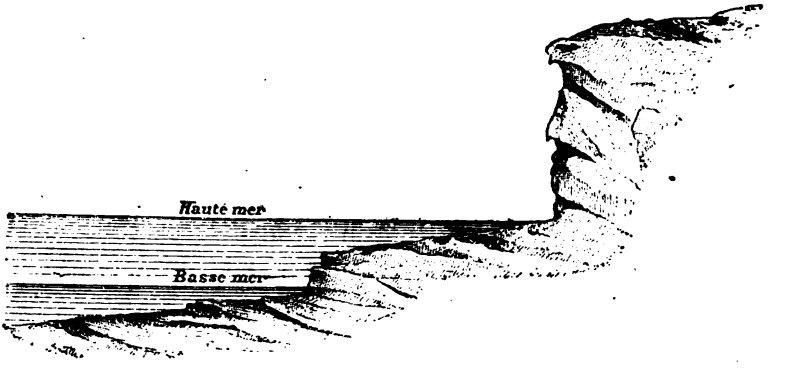
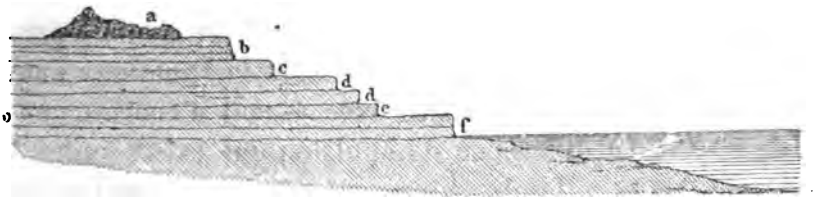


Fig. 62. — Falaise de l'Océan.

plusieurs mètres au moins, deux degrés superposés s'étendent au-dessous de la muraille des falaises. Lorsque la roche est très-dure, la plate-forme unique ou multiple offre à peine

quelques mètres de largeur, et peut être comparée à une étroite corniche suspendue à mi-hauteur, entre deux parois abruptes, celle de la falaise et celle qui plonge dans l'abîme des eaux. Au contraire, lorsque la roche est facile à entamer, la terrasse à un ou plusieurs étages, sur laquelle se déroulent les flots, a quelquefois plusieurs centaines de mètres de largeur. A Inishmore, sur la côte occidentale d'Irlande, la falaise



a Grève des tempêtes.
b Terrasse des hautes marées d'équinoxe.
c Terrasse des hautes marées ordinaires.
d d Terrasses intermédiaires.
e Terrasse des basses mers ordinaires.
f Basses mers d'équinoxe.

Fig. 63. — Falaises d'Inishmore; d'après Kinahan.

offre une succession de marches régulières comme celles d'un escalier taillé pour des géants. Le degré le plus élevé, tout encombré de blocs, est celui qu'atteignent les vagues de tempête; plus bas se trouvent celui que baignent les marées de vives eaux, puis celui où s'arrêtent les marées ordinaires. Encore plus bas sont les terrasses intermédiaires, et les deux derniers degrés de l'escalier sont ceux où l'eau déferle lors des reflux ordinaires et des basses mers d'équinoxe[1].

Il est facile de le comprendre, ces rebords sous-marins étaient autrefois engagés dans l'épaisseur de la falaise; ils ont résisté à l'assaut des vagues, tandis que les hautes assises, sapées par la base avec plus ou moins de lenteur, se sont écroulées dans les flots. La force de projection des lames se faisant sentir avec beaucoup moins d'énergie dans la masse des eaux qu'à la surface de la mer, le rocher se laisse entamer seulement à l'endroit où viennent le heurter les flots qui déferlent; mais ses pentes submergées restent relativement intactes et continuent plus ou moins exactement l'ancien profil de la côte. Telle est la raison pour laquelle il existe, sur les

1. Kinahan, *Geological Magazine*, août 1866.

rivages de l'Atlantique et des autres mers dont le niveau oscille alternativement avec le flux et le reflux, deux plates-formes superposées qui correspondent, l'une avec le niveau de basse mer, l'autre avec la surface de pleine eau. A l'heure du flot, les vagues, poussées par la marée et le plus souvent aussi par la brise qui accompagne la marée[1], déferlent avec impétuosité sur les parois des rochers et poussent vigoureusement leurs travaux de sape. Au contraire, pendant la période du reflux, l'eau qui se brise sur le bord est retenue par le courant de jusant et comme attirée vers la haute mer : aussi n'attaque-t-elle point la falaise avec autant d'énergie que le flot de marée. La différence d'impulsion qui existe entre les vagues du flux et celles du reflux peut se mesurer par l'étendue respective des plates-formes intermédiaires.

Si les flots marchent constamment à l'assaut du rivage pour transformer en falaises les hauteurs du bord, celles-ci, de leur côté, ne se contentent pas de résister par leur masse et par la dureté plus ou moins grande de leurs assises, mais plusieurs d'entre elles ont en outre, dirait-on, le soin de cuirasser contre les vagues leur base menacée. Une épaisse végétation d'algues aux chevelures flottantes tapisse les corniches, rompt la force de la houle et change en torrents d'écume tourbillonnante les énormes lames qui couraient à l'attaque des roches avec une grande vitesse. En outre, toute la partie des rochers comprise entre les niveaux de la haute et de la basse mer est couverte de balanes et d'autres coquillages, assez nombreux pour donner à certaines heures à la pierre l'apparence d'une masse grouillante, et pour lui former ensuite comme une immense carapace immobile[2].

Les côtes ainsi protégées sont précisément celles qui, par la solidité de leurs roches, résisteraient le mieux aux attaques de la mer. Quant aux falaises composées dans toute leur épaisseur ou seulement à leur base de matériaux peu résistants,

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *l'Air et les Vents*.

2. Voir, ci-dessous, les chapitres intitulés *la Terre et sa Flore, la Terre et sa Faune*.

elles s'éboulent trop souvent pour que les mollusques et les algues se hasardent en nombre sur la partie du rocher que viennent assaillir les vagues. De grands blocs se détachent des assises supérieures et tombent sur la grève; ensuite, sous l'action des lames, ils se fractionnent en morceaux plus petits, puis en galets que le flot roule et froisse incessamment avec un bruit de chaînes. Sous ces débris constamment remués par la vague, aucun germe de plante ou d'animal ne peut se développer, aucun organisme vivant apporté de la haute mer ne peut se défendre; le désert se fait même dans les eaux qui déferlent sur cette masse grondante.

Lorsqu'il en est ainsi, ce sont les amas écroulés et les cailloux de la grève qui servent eux-mêmes de boulevards de défense pour garantir la paroi des falaises de nouvelles dégradations. Appuyés en talus sur la partie inférieure du rocher ou bien épars dans les flots et transformés en écueils, les blocs abattus brisent la force des lames et retardent le progrès des érosions. C'est ainsi que sur les côtes de la Méditerranée, près de Vintimille, des falaises, dont les assises inférieures sont composées d'une argile sableuse que les pluies elles-mêmes suffisent à délayer, se défendent pendant de longues années par des talus, des digues, des tours et des obélisques d'un solide conglomérat détaché des assises supérieures. De même sur les âpres rivages de la Bretagne, les blocs de granit, fendillés dans tous les sens et changés en galets que la mer emporte et que la mer ramène, maintiennent intactes durant des siècles les parois des rochers dont ils faisaient autrefois partie.

Les falaises de Normandie, composées de matériaux beaucoup moins durs que ceux des promontoires de la Bretagne, sont aussi plus facilement entamées; toutefois il faut en attribuer la rapide érosion principalement au courant du littoral qui enlève les galets accumulés à la base des rochers. Le talus de blocs écroulés constitue d'abord une défense parfaitement suffisante contre la furie des lames; mais peu à peu la partie crayeuse de la roche se dissout et va se déposer çà et là sur les bancs de vase, tandis que les rognons de silex dégagés de

l'épaisseur de la pierre cessent d'offrir aux flots une résistance suffisante, et sont entraînés dans les baies voisines en immenses processions parallèles au rivage. Sur les côtes méridionales de l'Angleterre, le courant du littoral est beaucoup moins énergique et les talus de débris peuvent en conséquence résister longtemps aux attaques de la mer. Il y a quelques années, les eaux minaient avec une rapidité menaçante la base de la falaise Round Down, qui s'élève non loin de Douvres, immédiatement à l'ouest du rocher que les Anglais ont consacré à Shakspeare en souvenir de la belle description qu'il en a faite dans le *Roi Lear*. Pour sauver ce promontoire historique, les coteaux voisins, les maisons qu'ils portent et le chemin de fer qui traverse les caps en tunnel, on eut l'idée de faire sauter une partie des assises supérieures. Devant une foule immense accourue pour voir ce spectacle nouveau, on mit le feu à 9,000 kilogrammes de poudre entassés dans la mine; d'énormes masses de rochers, évaluées à un million de tonnes, s'écroulèrent avec fracas du haut de la falaise et s'étendirent jusqu'à la distance de 400 mètres dans la mer. Le banc artificiel que l'on voit à marée basse n'a pas moins de 7 à 8 hectares, et de tous les côtés la force des vagues vient se rompre sur ses talus. Beete Jukes pense que depuis dix-huit siècles la falaise de Shakspeare et les rochers voisins avaient été érodés de près de 2 kilomètres[1].

Dans la mer du Nord, il est une île, que par une confusion involontaire on croyait avoir été consacrée à Freya, la déesse de l'amour et de la liberté, et dont l'ancien nom de Halligland (terre aux bancs inondés) s'est transformé pour les étrangers en celui de Helgoland (sainte terre). L'île, composée en entier de grès bigarré, qu'entouraient autrefois des couches crétacées, présente à la mer, sur tout son pourtour, une falaise haute de 60 mètres et rongée à la base par les vagues marines. En employant l'héroïque moyen qu'ont appliqué les ingénieurs anglais pour la défense de la falaise de Shakspeare, et que la garnison d'Helgoland avait du reste

1. *School Manual of Geology*, p. 89.

inauguré dès l'année 1808 en bombardant une falaise croulante [1], les habitants pourraient entourer leur île d'un grand brise-lames circulaire; mais cette digue ne durerait pas longtemps, car les strates du grès bigarré ne contiennent pas de ces lits de cailloux qui servent à former les galets de la grève. Bientôt tous les blocs seraient dissous par les flots, et pas un seul débris ne restant pour garantir les assises inférieures de la falaise contre l'action des vagues, le travail d'érosion reprendrait librement son cours. Vouée à une destruction certaine, l'île fond peu à peu dans les eaux comme fondrait un immense cristal de sel.

Les savants n'accordent point tous le même degré de confiance aux documents relatifs à l'ancienne étendue d'Helgoland. Les uns, tels que Wiebel [2], regardent ces témoignages du passé comme dépourvus d'une authenticité suffisante et pensent que l'amoindrissement de l'île s'accomplit avec une grande lenteur; d'autres, au contraire [3], plus respectueux pour les affirmations des chroniqueurs, croient que dans l'espace de cinq siècles l'île a diminué au moins des trois quarts. Quoi qu'il en soit, il est certain que les terres en partie inondées auxquelles l'île doit son nom ont depuis longtemps cessé d'exister. Il est également certain que vers la fin du XVIIe siècle un isthme unissait encore Helgoland à un autre îlot dont les falaises se dressaient à 60 mètres de hauteur, comme celles de la terre principale : deux ports excellents, qui donnaient à l'île une grande importance stratégique, s'ouvraient au nord et au sud entre les deux masses rocheuses et leurs prolongements sous-marins. Aujourd'hui l'îlot oriental a disparu et ses falaises sont remplacées par quelques dunes et des bancs de sable découvrant à marée basse; les ports n'existent plus, et les navires de guerre du plus fort tirant d'eau peuvent voguer librement là où se développait encore l'isthme de jonction, il y a moins d'un siècle et demi. D'ailleurs, qui reconnaîtrait

1. Hallier, *Nord-See Studien*, p. 73.
2. *Die Insel Helgoland.*
3. Von Maack, *Zeitschrift für die allgemeine Erdkunde*. 1860.

aujourd'hui dans ce rocher d'Helgoland, long de 2 kilomètres à peine et large de 600 mètres, la terre dont parlait Adam de

HELGOLAND.

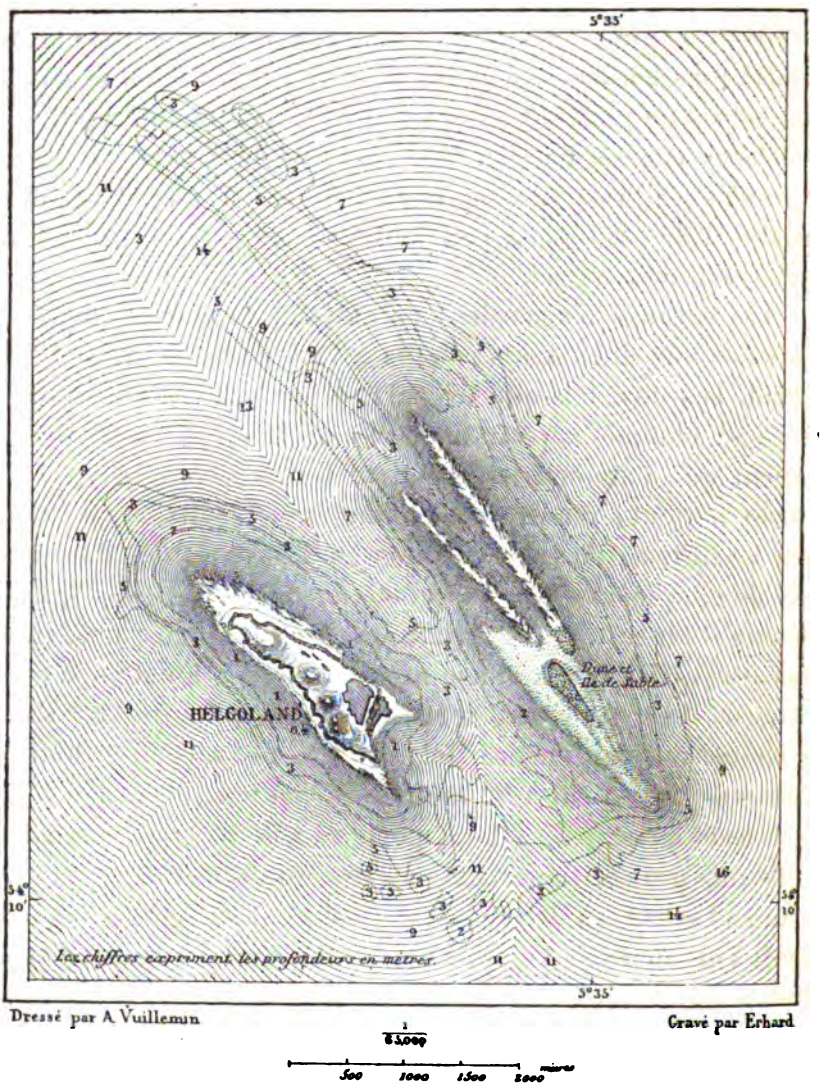
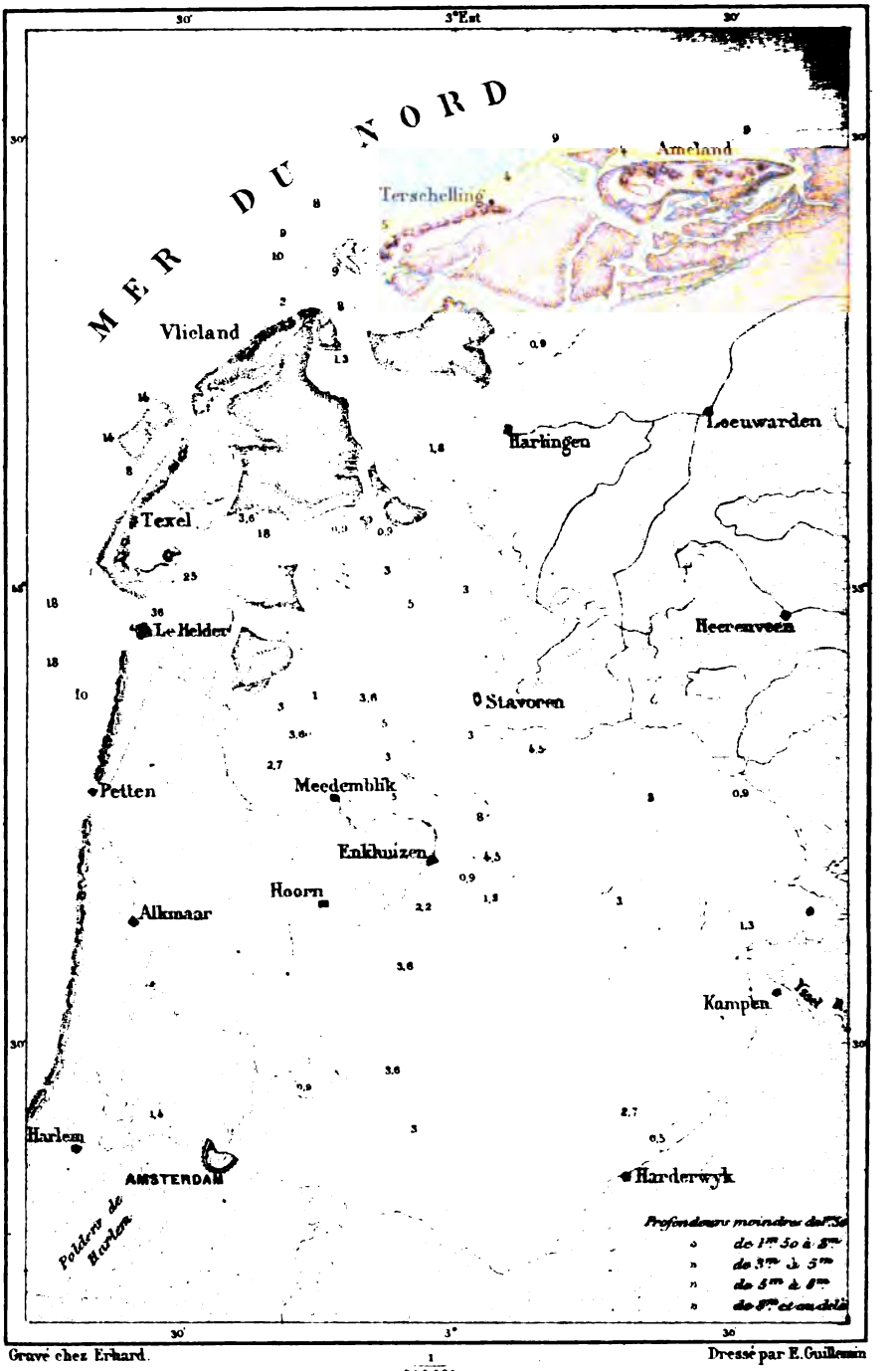


Fig. 61.

Brême en 1072, et qui était alors « très-fertile, riche en céréales, en bestiaux et en volatiles, » et qui s'étendait, dit Karl Müller, « sur un espace de 900 kilomètres carrés[1]. »

1. *Die Gefahren der schleswig'schen Westkuste : Natur,* mars 1867.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
A
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R



Gravé chez Erhard. Dressé par E. Guillemin

Actuellement quelques rangées de pommes de terre, quelques maigres pâturages sont les seuls restes qui témoignent de l'antique fertilité d'Helgoland.

Si la mer détruit ainsi les terres bordées sur tout leur pourtour de promontoires rocheux, elle respecte encore bien moins les plages basses qui, par suite de quelques modifications dans la géographie des côtes ou dans le relief des bancs sous-marins, se trouvent placées en travers des courants. En face même d'Helgoland, les plages du Hanovre, de la Frise et de la Hollande, qui d'ailleurs semblent s'affaisser graduellement [1], offrent l'exemple le plus remarquable de cette puissance destructive de la mer. Depuis seize cents ans, c'est-à-dire depuis que l'histoire écrite a commencé pour ces contrées, la vie des habitants riverains n'a été qu'une lutte incessante contre la pression des eaux. Durant cette période, les grandes irruptions de la mer se comptent par centaines, et dans le nombre il en est qui, d'après les chroniques, auraient noyé des populations entières de cinquante et de cent mille âmes. Pendant le cours du IIIe siècle, nous dit la tradition, l'île de Walcheren est séparée du continent; en 860, le Rhin se déplace, inonde les campagnes; le château de Caligula (*arx britannica*) reste au milieu des flots. Dans l'année 1170, la mer fait une nouvelle invasion jusque devant les murs d'Utrecht; mais c'est au XIIIe siècle seulement que le lac Flevo se change en un golfe pour former le Zuyderzee ou « mer du Sud » des Frisons; l'isthme qui rattachait la Frise du nord à la Frise du sud est complétement rompu, les îles se noient, les rivages du continent sont rongés, et bientôt les habitants de la Hollande finissent par oublier qu'ils ont été Frisons : néanmoins le vaste dédale des bancs de sable du Zuyderzee, qu'un long cordon d'îles et de dunes sépare du domaine de l'Océan, reste toujours, au point de vue géologique, une dépendance du continent. Dans les premières années du XIIIe siècle, le golfe de la Jahde s'ouvre aussi aux dépens des terres et ne cesse de s'agrandir

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre.*

pendant deux cents ans. En 1230 a lieu l'effroyable inondation de la Frise, qui a, dit-on, coûté la vie à cent mille hommes. L'année suivante, les lacs de Harlem commencent à perler sur le sol, puis, grossissant peu à peu, se réunissent les uns aux autres pour s'étaler en une mer intérieure vers le milieu du XVIIe siècle. En 1277, le golfe du Dollart, qui n'a pas moins de 35 kilomètres de long sur 12 kilomètres de large, commence à se creuser aux dépens de campagnes très-fertiles et très-peuplées et transforme la Frise en péninsule : c'est en 1537 seulement qu'on peut arrêter les envahissements de la mer, qui a dévoré la ville de Torum et cinquante villages. Dix ans après la première invasion des eaux dans le Dollart, un débordement du Zuyderzee noie 80,000 personnes et modifie la configuration du littoral hollandais. En 1421, soixante-douze villages sont submergés en même temps, et la mer en se retirant ne laisse à la place des champs et des groupes d'habitations qu'un archipel d'îles marécageuses, d'îlots couverts de roseaux et de bancs de vase : c'est le pays connu sous le nom de *Biesbosch* (forêt de joncs). Depuis cette époque, plusieurs autres catastrophes, à peine moins terribles, ont eu lieu sur les côtes de la Hollande, de la Frise, du Slesvig, du Jutland [1].

ILE DE BORKUM EN 1738.

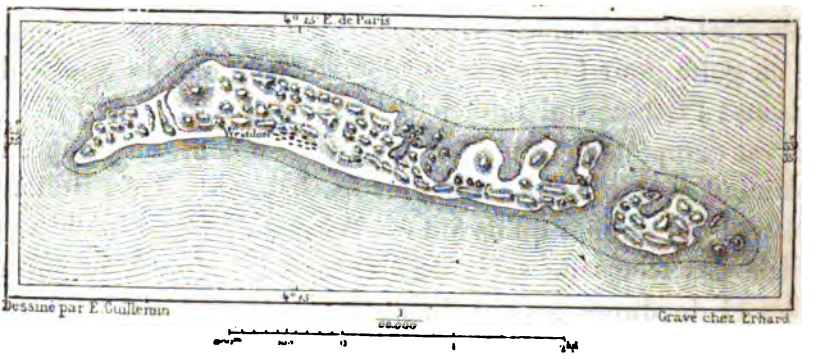


Fig. 65.

Du cordon de trente-deux îles qui s'étendaient au devant du rivage, il y a dix-huit siècles, il reste aujourd'hui seize

1. Von Hoff; von Maack; Beyer; Baudissin; Karl Müller, von Hellwald, etc.

fragments, et plusieurs ne sont autre chose que de simples digues de sable. L'île de Borkum, ainsi que nous la montrent les cartes à moins d'un siècle d'intervalle, s'est étrangement rapetissée; l'île de Wangerooge, débris de l'antique terre de Wangerland, qui rejoignait le continent et s'éten-

ILE DE BORKUM EN 1825.

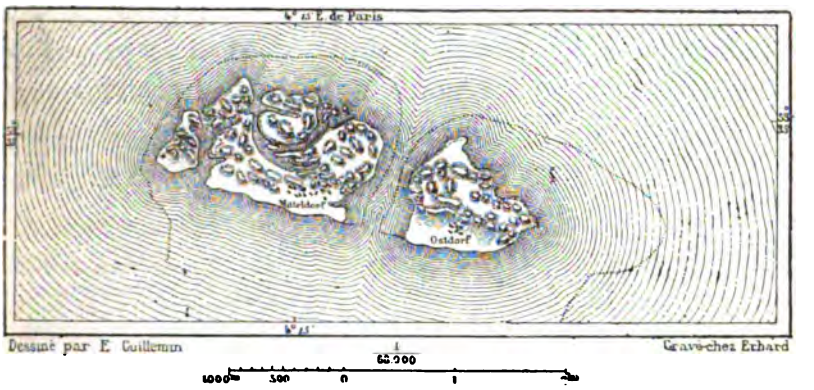


Fig. 66.

dait au loin sur la mer, était encore en 1840 une île florissante et peuplée, et, pendant l'été, les baigneurs la visitaient en foule. Aujourd'hui c'est une plage de vase presque entièrement abandonnée. L'île de Nordstrand a diminué des onze douzièmes depuis le commencement du XVIIe siècle, et des vingt-quatre îlots qui l'entouraient il y a trois cents ans, il n'en reste plus que onze : la sonde, jetée à l'endroit où se trouvait alors le centre de l'île, indique une profondeur de 14 mètres. L'île de Sylt et les autres terres de la côte du Slesvig ont été aussi très-fortement entamées, et l'on sait qu'en 1825 la mer s'est ouvert un chemin à travers toute la péninsule du Jutland en creusant le détroit du Lymfjord [1].

La curieuse péninsule du cap Cod, qui s'avance au loin dans la mer, au sud de l'état de Massachusetts, dans la république américaine, est l'une des terres qui, d'après le témoignage d'Agassiz et d'autres savants géologues de la Nouvelle-

1. Müller, *Gefahren der schleswig'schen Westküste : Natur*, mars 1867.

Angleterre, ont le plus changé de forme pendant les siècles derniers. Actuellement le littoral sablonneux tourné vers la haute mer présente une courbe des plus régulières, analogue à celle de la lame aiguë d'un patin. Au commencement du XVIIe siècle, il n'en était pas ainsi. Une île considérable, connue sous le nom de Nawset, et une longue péninsule perpendiculaire à la côte, la pointe Gilbert, interrompaient l'uniformité du littoral. Le développement total de la côte a été réduit d'une moitié ou même des deux tiers par suite de la disparition de ces anciennes terres : c'est probablement à leurs plages que Leif, le navigateur normand, donna vers l'an 1000 le nom de Wonderstrand ou « côte des Prodiges[1] ».

V.

Forme normale des rivages. — Courbes de « plus grande stabilité. » — Formation de nouveaux rivages. — Cordons littoraux et flèches de sable. — Baies intérieures.

Les rivages les plus violemment attaqués par la mer sont, toutes choses égales d'ailleurs, ceux qui présentent le plus d'échancrures et de promontoires. Les vagues s'acharnent surtout contre les caps avancés que le continent projette au loin dans le domaine des eaux; mais à mesure que les pointes reculent devant le flot qui les ronge, la puissance destructive des lames diminue; elle peut même finir par se réduire à néant lorsque la base des falaises est assez érodée pour ne plus décrire qu'une légère courbe en avant du rivage. En effet, le profil des côtes qui offre la plus grande résistance aux assauts de la mer n'est pas une ligne droite, comme on pourrait le supposer, mais une série de courbes régulières et rhythmiques, comparables à celles d'une chaîne attachée de

1. De Costa, *Journal of the American Geographical and Statistical society*. 1870.

distance en distance [1]. Les vagues ne cessent de travailler au remaniement du rivage, tant que celui-ci ne présente pas une succession de criques doucement infléchies de promontoire à

COURBES DES COTES ENTRE ONEGLIA ET SAVONE.

Dressé par A. Vuillemin — Gravé par Erhard

$\frac{1}{435000}$

Kilomètres 5 10

Fig. 67.

promontoire. Chacune de ces baies arrondies reproduit en grand la forme de l'onde qui déferle en dessinant sur le sable

1. Élie de Beaumont, Baude, etc.

de la plage une longue courbe elliptique de flocons d'écume.

Les côtes des pays montueux, auxquelles la mer a déjà donné les contours voulus, unissent une grâce extrême à une admirable majesté : telles sont les côtes de la Provence, de la Ligurie, de la Grèce, de la plus grande partie des péninsules ibérique et italique. Là, chaque promontoire, reste d'une ancienne chaîne de collines rasée par les flots, redresse en haute falaise sa pointe terminale ; chaque vallon qui descend vers la mer se termine par une plage de sable fin à courbure parfaitement régulière. Rochers abrupts et plages doucement inclinées alternent ainsi d'une manière harmonieuse, tandis que les diverses formations géologiques, la largeur plus ou moins grande des vallées, les villes éparses sur les hauteurs ou sur les plages, les inflexions de la côte et l'aspect sans cesse changeant des eaux introduisent la variété dans l'ensemble du paysage.

Les rivages entièrement sablonneux ont, aussi bien que les côtes rocheuses, un profil normal composé d'une série d'anses et de pointes; mais ces pointes, dont chaque vague vient modifier le relief, sont en général plus arrondies à leur extrémité que ne le sont les promontoires de rochers. La monotone côte des Landes, qui se développe sur une longueur de 220 kilomètres, de l'embouchure de la Gironde à celle de l'Adour, peut être prise comme type des rivages que les flots de la mer modèlent à leur gré. Sur ces bords l'uniformité du paysage est complète. Le voyageur a beau se hâter, il croirait à peine changer de place, tant l'aspect des lieux reste immuable : toujours les mêmes dunes, les mêmes coquillages parsemés sur le sable, les mêmes oiseaux assemblés par milliers sur le bord des lagunes, les mêmes rangées de flots qui se poursuivent et viennent dérouler à grand bruit leur nappe écumeuse. Dans tout le champ de la vue, les seuls points de repère sont les membrures de vaisseaux naufragés qu'on distingue de loin sur la blancheur du sable. Cependant les rivages qui présentent de la manière la plus parfaite cette série de courbes rentrantes et saillantes, qu'on pourrait appeler le profil de plus grande stabilité, sont exposés, eux aussi, à

subir de rapides érosions lorsque le boulevard de défense qui les flanque à l'une de leurs extrémités vient à céder sous la pression des flots. Ainsi le rivage des landes du Médoc, qui continuait au sud de la baie de Gironde la côte uniforme de la Saintonge, recule sans cesse devant la mer, depuis que le promontoire rocheux, dont le rocher de Cordouan et les écueils de Saint-Nicolas sont les seuls débris, a disparu sous les eaux réunies du fleuve et de l'Océan.

Mais si la mer démolit d'un côté, de l'autre elle édifie, et la destruction des anciens rivages est compensée par la création de nouveaux bords. Les argiles et les craies arrachées aux escarpements des promontoires, les galets de toute espèce qui sont alternativement rejetés sur le bord et ramenés dans la vague, les amas de coquillages, les sables siliceux et calcaires formés par la désintégration de tous ces débris, enfin les constructions diverses des corallines et autres animalcules sont les matériaux employés par la mer pour la construction des levées et l'ensablement des golfes.

C'est de chaque côté des falaises ou des pointes basses rongées par le flot que commence le travail de réparation. Chaque lame accomplit une œuvre double, car, en sapant la base du promontoire, elle se charge de débris qu'elle va déposer aussitôt sur la plage voisine; de la même impulsion elle fait reculer la pointe et gagner le rivage de la baie. Ainsi, grâce à deux séries de faits contraires en apparence, le rasement des pointes et le comblement des anses, les côtes, plus ou moins profondément découpées, acquièrent peu à peu la forme normale, aux courbes gracieusement arrondies. Quel que soit le dessin du littoral primitif, chaque inflexion du nouveau rivage s'arrondit en arc de cercle de promontoire à promontoire. Dans les endroits où l'ancienne côte était elle-même semi-circulaire, le bourrelet de sable ou de gravier rejeté par la houle s'applique sur la berge; mais lorsque les côtes sont irrégulières et coupées de criques profondes, la mer cesse peu à peu d'y pénétrer, elle les délaisse et se construit des levées de débris qui finissent par constituer le véritable rivage au milieu des flots.

La formation d'un pareil brise-lames s'explique d'une manière très-simple : les vagues du large poussées contre la rive frappent d'abord les deux caps placés comme des gardiens aux deux extrémités de la baie; elles y rompent leur force et sont rejetées contre la masse des eaux tranquilles de la baie. Arrêtées ainsi dans leur vitesse, elles laissent tomber les matières terreuses qu'elles tenaient en suspension et les débris plus lourds arrachés aux promontoires voisins. A l'entrée des fjords de la Scandinavie, de la Terre-de-Feu et de toutes les autres contrées montagneuses aux rivages très-dentelés, l'eau du large, claire et profonde, n'apporte qu'une quantité de débris relativement faible, et ne peut former de pointe à pointe qu'une levée sous-marine [1]; mais le long des côtes plus basses où le flot pousse devant lui des masses de sable et d'argile, les remparts d'alluvions construits par les vagues émergent graduellement du sein des eaux.

Sous l'impulsion alternative du flot et du jusant, les traînées de sables et de galets s'enracinent peu à peu aux rochers des caps et forment à l'entrée de la baie de véritables jetées dont les extrémités libres marchent à la rencontre l'une de l'autre. En s'allongeant sans cesse, ces deux segments finissent par se rejoindre à mi-chemin entre les deux caps, et forment ainsi un grand arc de cercle dont la convexité est tournée vers l'ancien rivage. Les plus furieux assauts de la mer ne servent qu'à consolider ces levées ou flèches en leur apportant d'autres matériaux et en les redressant au-dessus du niveau des marées.

Les flèches offrent dans leur profil une régularité géométrique; leur forme est pour ainsi dire l'expression visible des lois qui président à l'ondulation des vagues. Le plus souvent, la partie du bourrelet qui fait face à la mer se compose de plusieurs talus étagés qui répondent aux différents niveaux de basse mer, de flot et de tempête; d'ailleurs, tous ces talus présentent uniformément une courbe gracieuse modelée par les eaux qui déferlent. A la base de la levée, la pente est

1. Darwin, *South America*, p. 24.

très-faible et continue simplement la déclivité du fond de la mer; mais elle se redresse brusquement sous un angle qui parfois n'est pas moindre de 30 à 35 degrés. Immédiatement au delà de cette arête commence une contre-pente où la volute supérieure de chaque haute vague s'épanche en une nappe

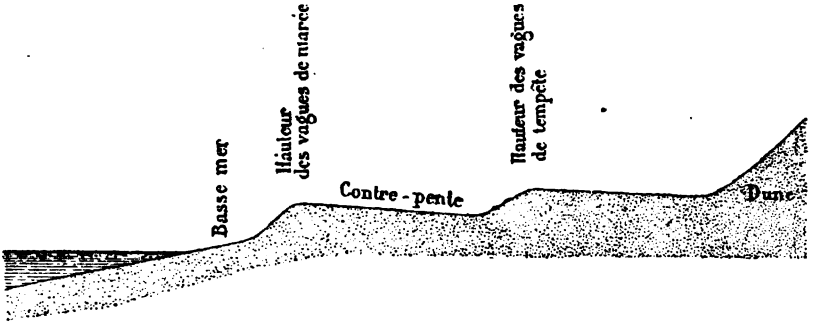


Fig. 68. — Profil des plages.

écumeuse. Plus loin se dresse un deuxième talus que viennent parfois frapper et consolider les vagues des tempêtes; le versant de ce second étage qui regarde vers la terre est très-doucement incliné. De ce côté, les matériaux de la levée, abrités de la force du vent et de la violence des vagues, se tassent graduellement et peuvent même à la longue se couvrir d'une couche de terre végétale. Après cette « lette, » se dressent les dunes ou bien s'étend la nappe de l'ancienne baie, transformée en lagune. Ce profil des plages est représenté par la figure précédente, où les hauteurs ont été fortement exagérées. En effet, il est certains golfes à forte marée dont la plage inférieure, véritable champ de course des vagues, semble tout à fait horizontale et se développe à perte de vue entre la ligne des basses mers et la berge du flot montant.

Malgré la mobilité des matériaux qui les composent, les flèches sont plus solides que les promontoires de rochers auxquels leurs extrémités sont enracinées, et quand les falaises ont été rasées par les flots, les levées de sable dressent encore leur courbe harmonieuse d'un écueil à l'autre écueil. Elles peuvent se déplacer sous l'influence des courants et des vents,

mais elles n'en subsistent pas moins, immuables en apparence et plus durables que les montagnes. Cependant elles n'offrent pas toutes un développement continu. Lorsque la baie intérieure est alimentée par un ou plusieurs fleuves, la masse

EMBOUCHURE DU LIAMONE.

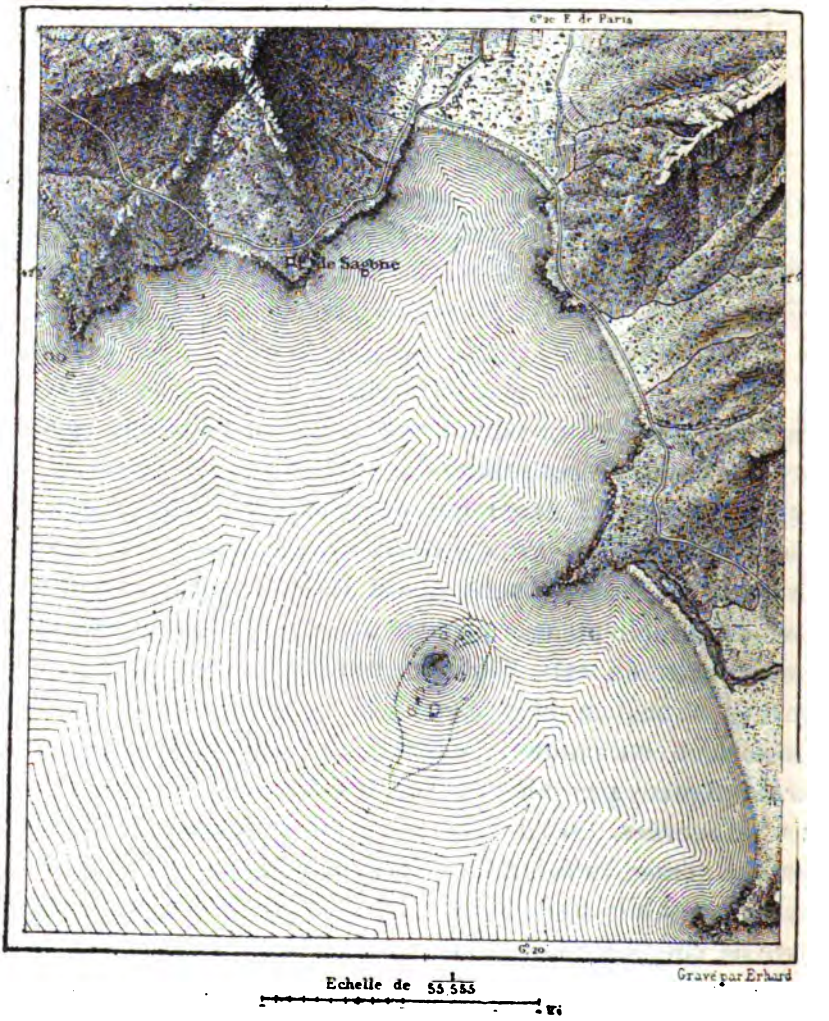


Fig. 69.

d'eau qui se jette dans ce bassin fermé doit nécessairement se frayer une issue vers la mer et percer le cordon littoral à l'endroit où il offre le moins de résistance, c'est-à-dire le plus souvent à l'une des extrémités de la levée : on voit un remar-

quable exemple de ce phénomène en Corse, à l'embouchure du Liamone.

Dans les pays où l'année se compose d'une période de sécheresse et d'une saison pluvieuse, la plupart des lagunes

EMBOUCHURE DE LA BIDASSOA.

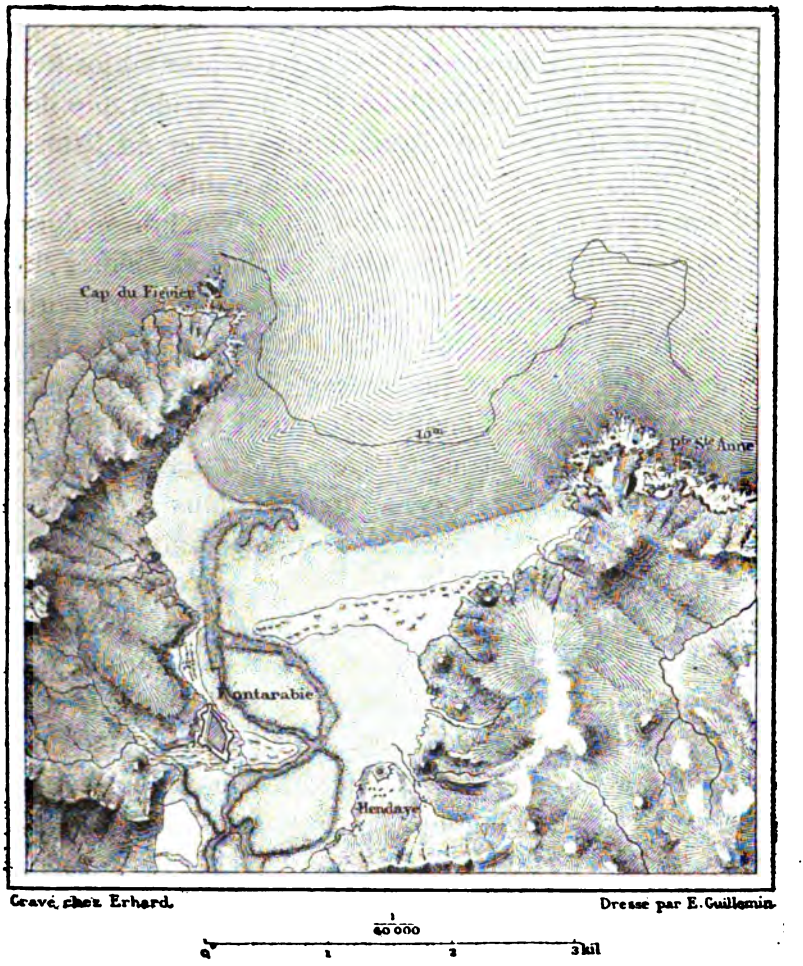


Fig. 70.

de la côte sont alternativement séparées de la mer d'une manière complète, puis réunies avec elle par des embouchures temporaires et peu profondes. Quand la masse des eaux pluviales s'est écoulée, les brèches de la levée rompues sont aussitôt comblées de nouveau par les vagues. De même,

sur les bords des mers à forte marée, nombre de rivières sont alternativement des canaux d'eau presque dormante, qu'une levée de sable sépare de l'Océan, et de vastes estuaires où remonte le flux puissant du large. Ainsi la Bidassoa, séparée du golfe à marée basse par une flèche de sable des plus gracieuses, est à l'heure du flux un bras de mer de 3 à 4 kilomètres de large. Presque tous les petits cours d'eau qui se jettent dans l'Atlantique sont deux fois par jour tantôt fleuves, tantôt marais. L'Orne elle-même, rivière considérable dont le large delta se déploie en éventail au dehors du littoral, se perd aussi dans les cailloux à l'heure du reflux.

Si les cours d'eau permanents ou périodiques s'ouvrent un passage à travers la flèche, en revanche ces mêmes fleuves servent à rapprocher graduellement le rivage continental du rivage maritime en déposant leurs alluvions dans les lagunes intérieures. Les joncs et les autres plantes qui se plaisent dans les eaux saumâtres contribuent aussi à la transformation des anciennes baies en marécages et en terre ferme. Des couches de détritus végétaux, accumulés dans les anses pendant la succession des années et des siècles, finissent par les élever au-dessus du niveau ordinaire des eaux; puis viennent les grands arbres qui assainissent le sol et le rattachent définitivement au continent. Dans les régions tropicales, ce sont les mangliers et les palétuviers qui se chargent de conquérir les nouvelles plages. Dressés sur l'échafaudage de leurs hautes racines aériennes arc-boutées les unes sur les autres, ils croissent en pleine lagune. Caché par la forêt flottante, le liquide vaseux est bientôt rempli de débris; les branches et les troncs renversés des mangliers, beaucoup plus lourds que l'eau, exhaussent incessamment le fond et finissent par affleurer à la surface. Une nouvelle végétation s'empare aussitôt de ce rivage encore indécis.

Les mêmes lois hydrologiques auxquelles est due la formation de flèches entre deux caps sont à l'œuvre pour amener le même résultat entre deux îles ou bien encore entre une île et le continent. Sur les côtes d'Europe, un grand nombre de terres marines ont ainsi perdu leur caractère insulaire et sont

devenues des péninsules : les détroits ont été graduellement changés en isthmes. La presqu'île de Giens, entre Hyères et Toulon, offre un exemple remarquable de cette transformation. Elle est rattachée au continent par deux plages de sable fin,

PRESQU'ILE DE GIENS.

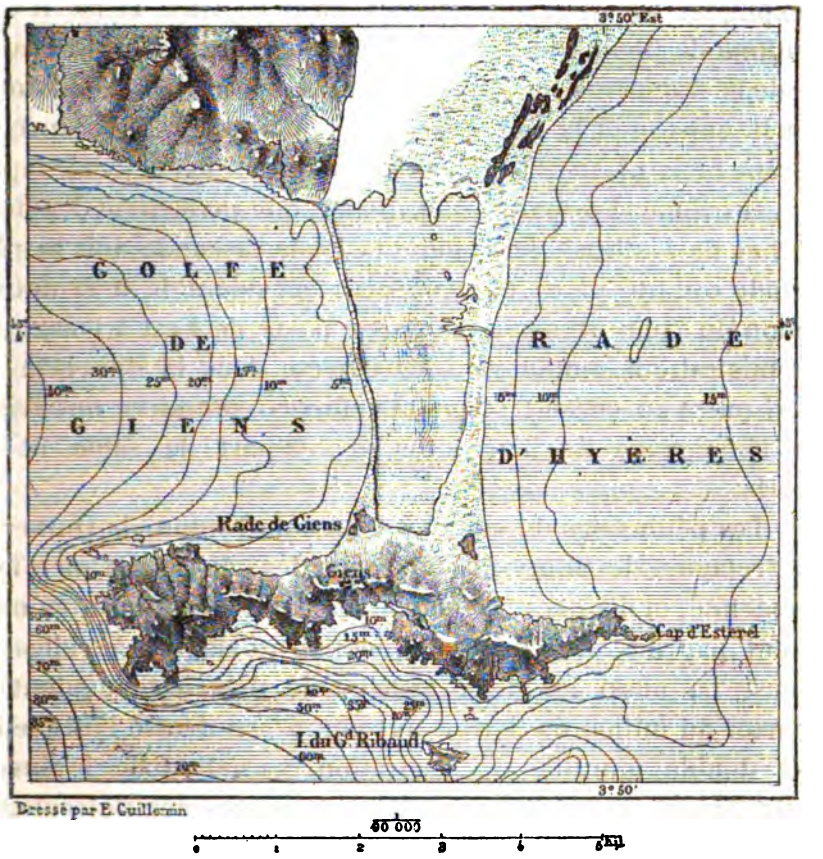


Fig. 71.

longues de 5 kilomètres environ, et se développent chacune en courbes régulières qui tournent leur partie concave vers la mer libre. Entre les deux levées s'étend la vaste lagune des Pesquiers. A la vue de cette nappe d'eau intérieure et de ces plages basses à peine élevées au-dessus du niveau de la Méditerranée, on ne saurait douter que la péninsule montueuse de Giens ne fût autrefois une île comme Porquerolles ou Port-

Cros, et que les deux rades, aujourd'hui séparées, d'Hyères et de Giens, ne se confondissent en un même détroit. Les deux flèches de jonction qui réunissent l'ancienne île à la côte de Provence ont été élevées par les vagues de la même manière et sur le même plan que les cordons littoraux du continent. Quant aux différences d'aspect, elles peuvent toutes s'expliquer par des circonstances locales. Ainsi la levée que l'isthme de Giens tourne vers l'ouest est composée en réalité de deux fragments inégaux dus à l'existence d'un écueil sous-marin qui rompt la force des ondes à une petite distance au devant de la plage. C'est également à des causes locales qu'il faut attribuer l'inégalité d'épaisseur que présentent les deux flèches de l'isthme. Sans doute la levée orientale doit sa plus grande solidité et sa hauteur plus considérable à la double action du courant maritime qui se porte de l'est à l'ouest, et du mistral qui souffle en sens inverse dans la direction du nord-ouest au sud-est : les deux forces contraires ont laissé en témoignage de leur lutte ce rempart de sable et de débris.

Les péninsules du cap Sépet près de Toulon, de Quiberon en Bretagne, de Monte-Argentaro sur les côtes de la mer Tyrrhénienne, et d'autres moins connues, ont été réunies au continent par des chaussées de jonction analogues à celles de Giens. Là aussi les deux armées de flots qui venaient se heurter au milieu du détroit ont peu à peu dressé entre elles une double muraille de séparation consistant en levées de sable ou de galets; là aussi les deux jetées semi-circulaires se sont rapprochées par leur convexité centrale, et les deux espaces triangulaires qui séparaient les extrémités respectives ont d'abord été occupées par des lagunes. De nos jours, la plupart de ces étangs, graduellement comblés par les sables, sont transformés en marécages ou recouverts de dunes : les deux cordons littoraux se sont confondus en un seul. Ainsi l'isthme étroit de Chesil-Bank, qui s'étend sur une longueur de 26 kilomètres entre la côte de l'Angleterre et l'ancienne île de Portland, se compose d'une seule levée de galets. De même, les deux îles françaises de Miquelon près de Terre-Neuve, qui

étaient encore séparées l'une de l'autre en 1783, sont réunies depuis 1829 par un rempart de sable qu'ont dressé à la fois les vagues de deux golfes opposés [1]. La Guadeloupe est égale-

PRESQU'ILE DU CAP SÉPET.

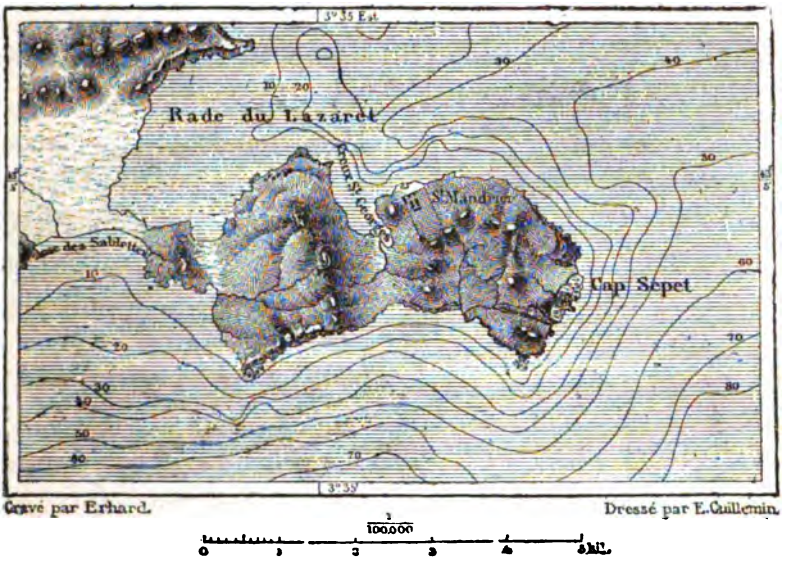


Fig. 72.

ment un exemple de ce phénomène de jonction entre deux terres d'origine distincte. Le haut massif de montagnes volcaniques qui se dresse à l'ouest s'est uni à l'île basse de l'orient, et les deux îles se tiennent maintenant par une plaine marécageuse où croupissent les eaux du petit canal appelé rivière Salée. Dans le couple des îles de Choa-Canzouni, que baignent les eaux de l'océan Indien, un phénomène analogue se présente, mais la flèche de jonction entre les deux îles s'y trouve réduite pour ainsi dire à un point mathématique [2].

M. Élie de Beaumont évalue la longueur des côtes qui doivent leur configuration actuelle aux levées de galets et de sable à un tiers environ du développement total des rivages continentaux. C'est dans les bassins aux faibles marées que

1. Brué, *Bulletin de la Société de Géographie*. 1829.
2. Voir, ci-dessous, page 230.

ces cordons offrent les dimensions les plus considérables. En France, toutes les plages du golfe de Lyon, depuis Argelez-sur-Mer jusqu'aux bouches du Rhône, forment une série de cordons littoraux interrompus seulement par les roches de

PÉNINSULE DE PORTLAND.

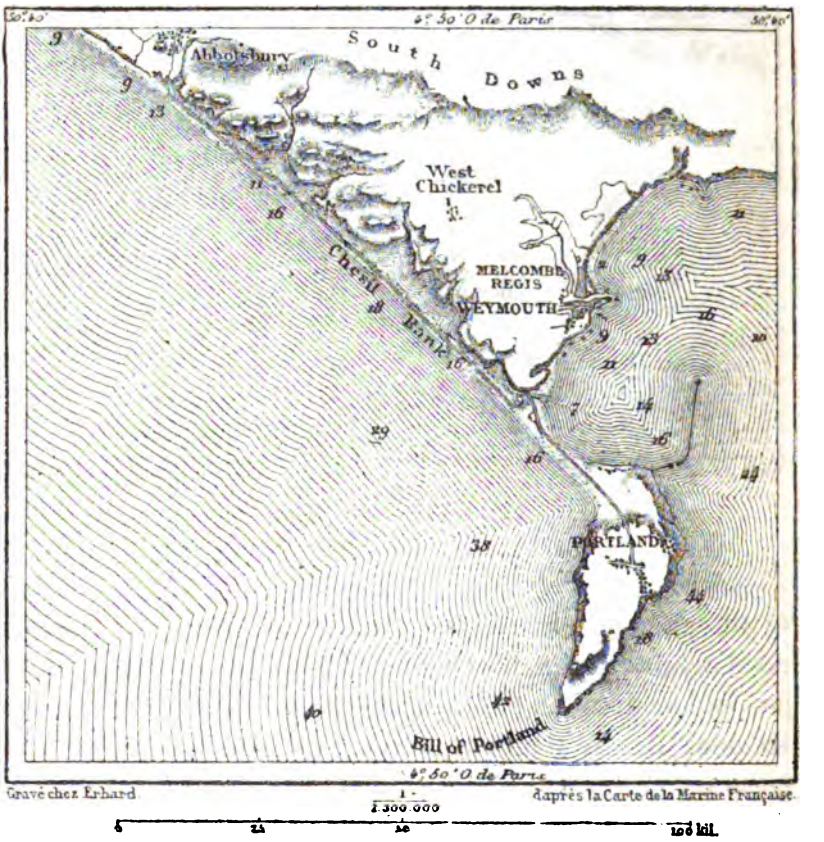


Fig. 73.

Leucate, de la Clape, d'Agde et de Cette, et se développant en un vaste demi-cercle de près de 200 kilomètres. Les nombreux étangs qu'elles séparent aujourd'hui de la Méditerranée, et que les alluvions des fleuves, les sables marins, l'envahissante agriculture ne cessent de transformer graduellement en terre ferme, étaient sans aucun doute autant de baies longeant la base des collines du Languedoc. Déjà depuis l'époque historique, ces eaux intérieures ont notablement diminué d'éten-

ILES MIQUELON.

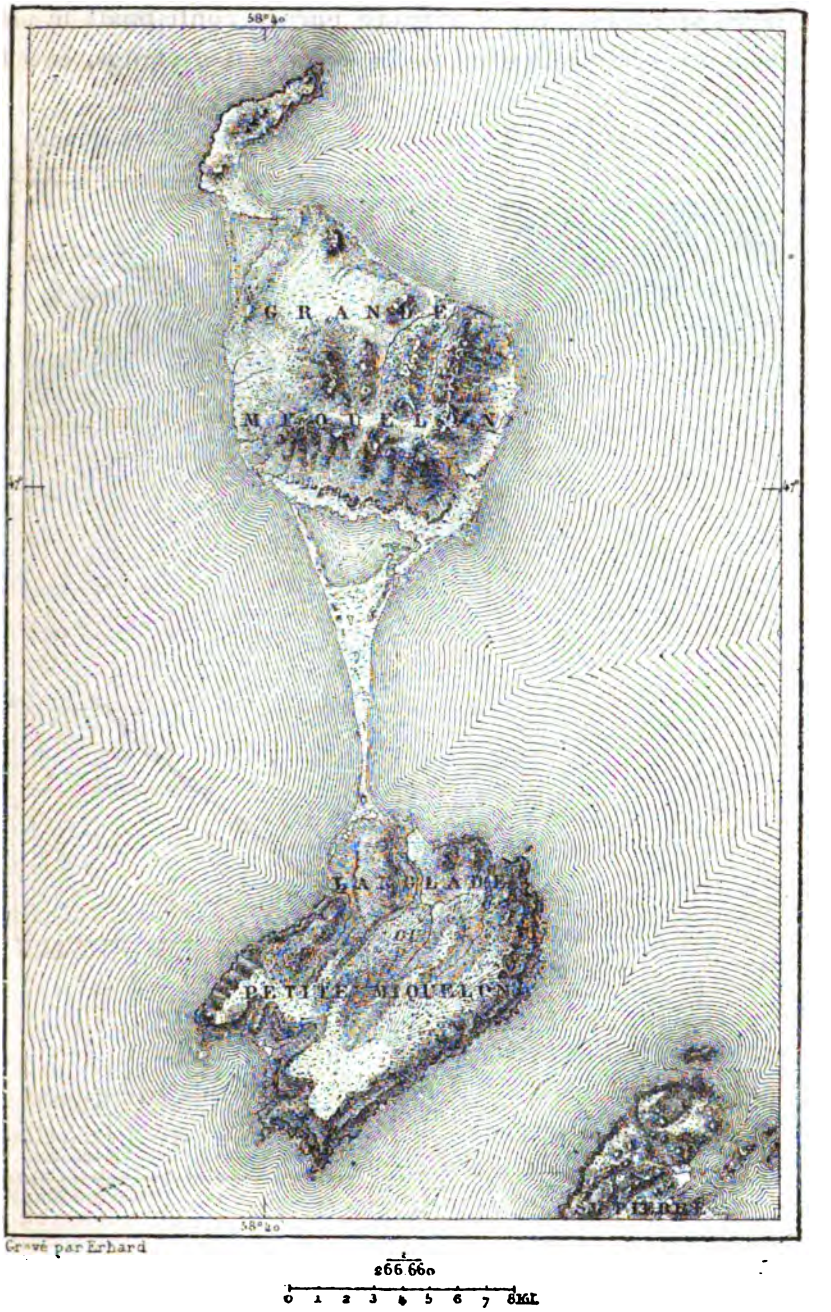
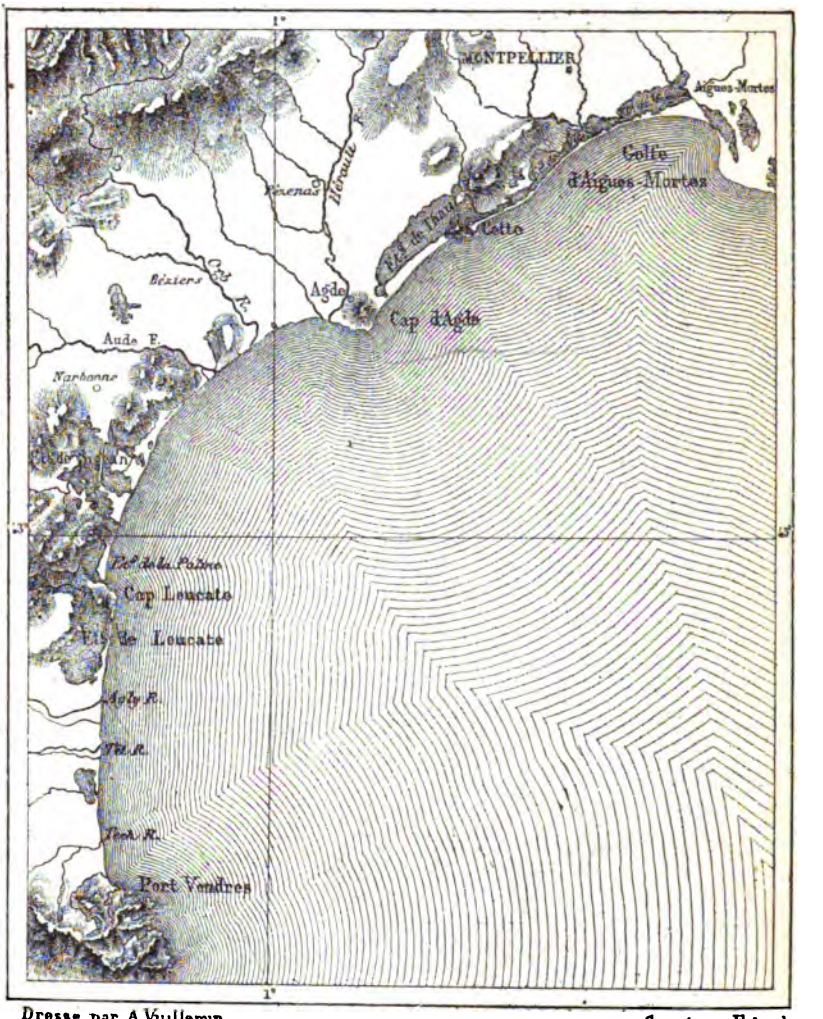


Fig. 74.

due, et de vastes golfes, changés en marécages au grand détriment de la salubrité publique, ont empesté l'atmosphère de leurs miasmes. Ce qui naguère encore contribuait le plus activement à la diminution de la surface des étangs, ce sont

FLÈCHES DU LITTORAL ENTRE PORT-VENDRES ET AIGUES-MORTES.

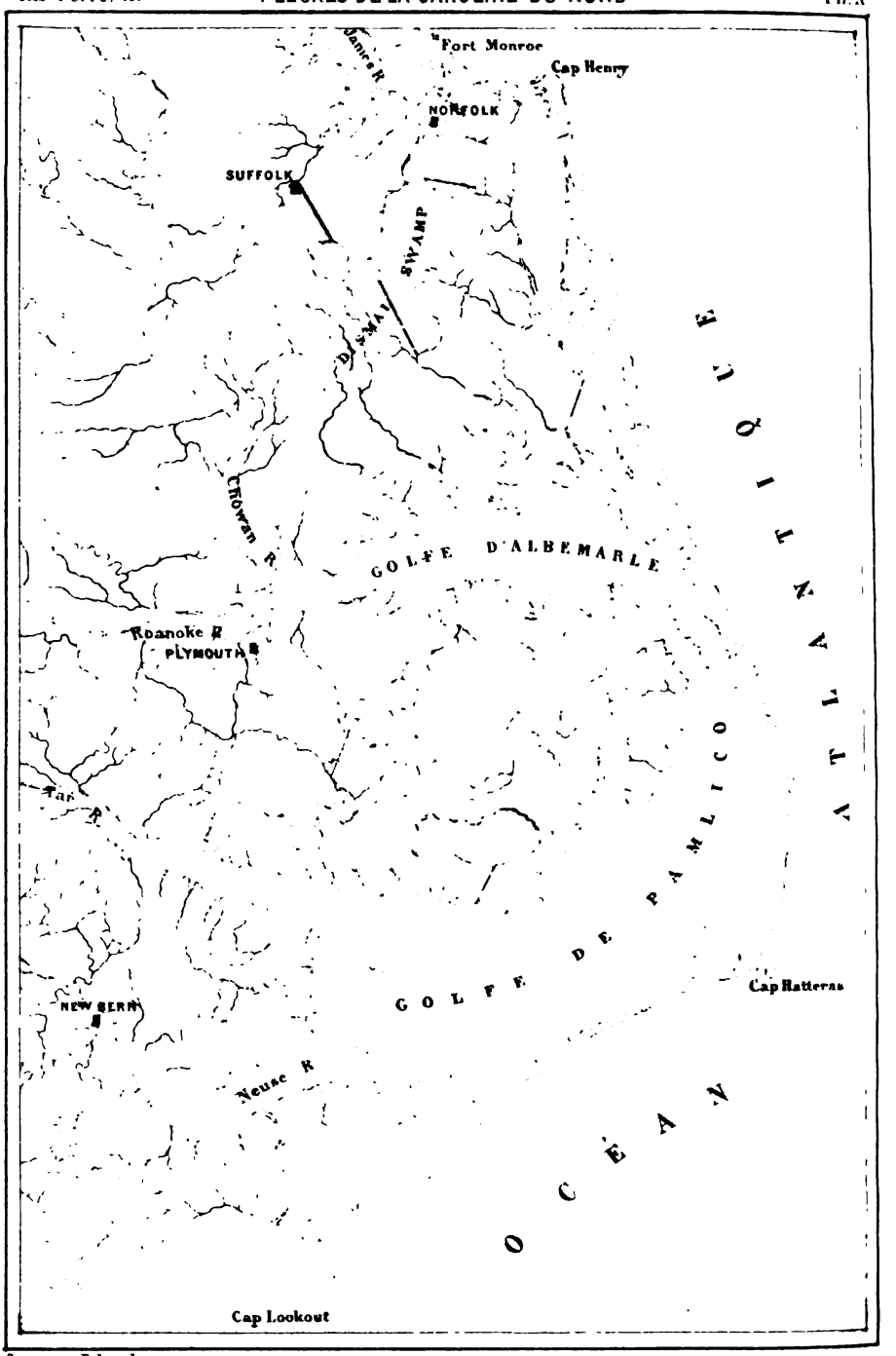


Dressé par A. Vuillemin Gravé par Erhard

Fig. 75.

les « graus, » ou passages par lesquels l'eau de la mer apportait des amas de sable pendant les tempêtes . ces ouvertures, les unes temporaires, les autres permanentes, mais s'élargis-

PUBLIC LIBRARY



Grave par Erhard

1/1.450.000

0 10 20 30 40 50 Kil

sant, se rétrécissant tour à tour et se déplaçant tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, ne cessent de modifier le régime des étangs et des campagnes riveraines; ici elles laissent passer des masses d'eau qui submergent les rivages et creusent le sol; ailleurs elles s'obstruent, et devant les villages des bords étendent à perte de vue leurs bancs de vase infecte. Afin d'empêcher désormais la transformation des étangs en bourbiers et en marécages, M. Régy a proposé de remplacer les anciens graus tortueux par des canaux qui, pendant les beaux temps, laisseraient communiquer librement les eaux lacustres et celles de la mer, mais que fermeraient des écluses durant les tempêtes.

Les *lidi* de Commachio, ceux de Venise et de la vieille cité d'Aquilée rétrécissent aussi le bassin de l'Adriatique, qui pénétrait autrefois beaucoup plus avant dans les terres à l'ouest et au nord-est (fig. 76). Sur les côtes méridionales du Brésil, sur les rivages de la Guinée, les cordons littoraux séparent de l'Océan des étendues considérables; mais nulle part on ne voit ces levées de sable plus nombreuses et mieux développées qu'autour du golfe du Mexique et sur les côtes orientales des États-Unis. On peut dire que, sur une longueur d'environ 4,000 kilomètres, le pourtour du continent américain est formé d'un double rivage, l'un baigné par la mer, l'autre par les lagunes intérieures. Devant l'ancienne côte aux indentations irrégulières, la nouvelle plage décrit ses courbes gracieuses de promontoire à promontoire, et, ne se laissant pas même arrêter par les embouchures des fleuves, se continue sous les passes par des barres dangereuses.

Les péninsules déchiquetées de la Caroline du Nord et les golfes ramifiés qui découpent ces presqu'îles et se prolongent même dans l'intérieur des terres sous forme de marécages sont masqués du côté de la mer par une levée naturelle de 350 kilomètres de longueur sur laquelle viennent se briser les vagues les plus redoutables de l'Atlantique boréal. D'ailleurs, ces flèches si gracieusement infléchies ne sont pas construites par la mer seule; elles sont dues aussi à la pression des eaux douces apportées des Alleghanys par la Neuse,

le Tar, le Roanoke et d'autres rivières [1]; la direction des brise-lames indique précisément la ligne d'égal équilibre entre

LAGUNES ET LIDI DE VENISE.

Fig. 76.

les eaux marines et les eaux fluviales. En dedans du littoral extérieure, on a pu, sans travaux d'art considérables, mettre

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.

en communication toute la série des lagunes intérieures et permettre ainsi aux navires de faire de longs voyages maritimes complétement à l'abri des tempêtes. De même les marigots de la Guinée qui s'étendent parallèlement à la côte ont, de tout temps, servi à faciliter les échanges entre les peuplades du littoral; mais on dit que ces canaux marécageux se comblent peu à peu, soit à cause de l'activité de la végétation, soit aussi à cause du sable qu'y transporte le vent du désert [1].

Beaucoup moins étendues que les flèches du golfe du Mexique et des Carolines, celles de la Baltique orientale ne

FLÈCHES DE DANTZIG ET DE PILLAU.

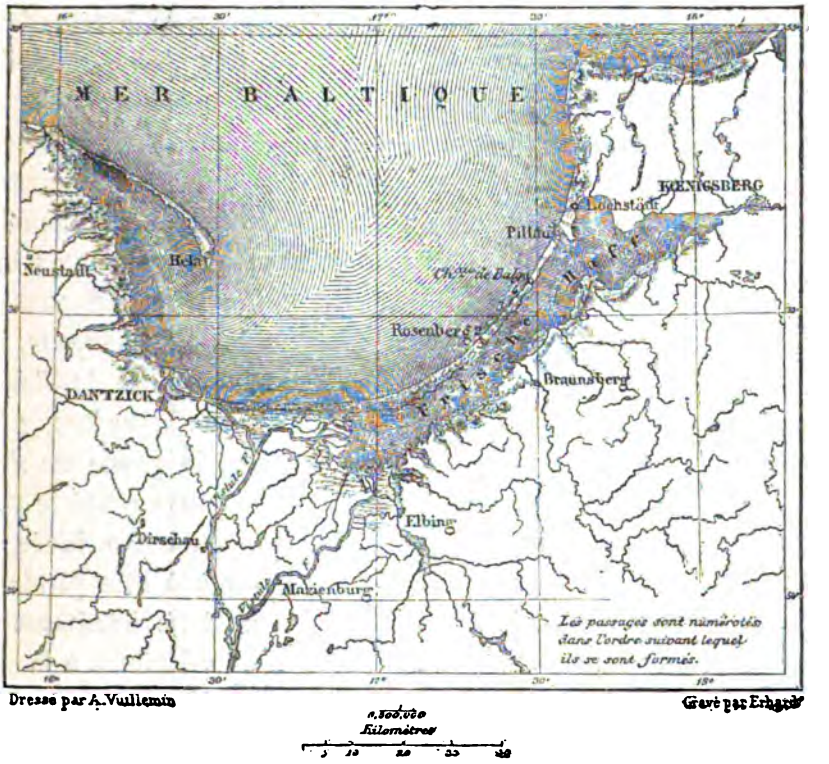


Fig. 77.

sont pas moins curieuses par la régularité géométrique de leurs formes, et de plus elles ont été l'objet de longues et

1. Borghero, *Bulletin de la Société de Géographie*, juillet 1866.

sérieuses études. Trois grands fleuves, l'Oder, la Vistule et le Niemen, se déversent chacun dans une vaste lagune ou *Haff* (*hafen*, port), qu'une lagune de terre appelée *Nehrung* sépare de la haute mer. Le haff de l'Oder, dont la ville de Swinemünde garde l'entrée, est déjà en grande partie comblé par les vases. Le *Curiche Haff* ou haff de la Courlande est beaucoup plus libre d'alluvions, et la nehrung qui le défend est encore une flèche étroite ayant une longueur de 110 kilomètres environ. Le haff central, connu sous le nom de *Frische Haff*, est protégé par une flèche semblable à celle de la Courlande, mais encore plus régulière. Toute la partie occidentale de l'estuaire a déjà été comblée par les alluvions de la Vistule, dont les eaux doivent se frayer un passage à travers la levée. Cette embouchure a souvent changé de place. Jusqu'au XIVe siècle, elle se trouvait au nord de la passe actuelle, près de Lochstädt (ville du trou ou du « grau »); ensuite elle s'ouvrit à Rosenberg, à peu près vers le milieu de la digue. Pour conserver leur monopole commercial, les négociants de Dantzig comblèrent cette embouchure en y coulant cinq navires; mais une autre passe se forma aussitôt à une petite distance vers le nord, près du château de Balga. Plus avides que savants, les Dantzickois essayèrent encore d'arrêter les eaux de la Vistule et fermèrent la passe de Balga. C'est alors que la nehrung fut brisée devant Pillau. Depuis cette époque, la passe ne s'est pas sensiblement déplacée, et Pillau est toujours resté le port du Frische Haff. Au nord de Dantzig, une curieuse levée de 33 kilomètres de longueur unit la terre ferme à l'île pittoresque de Hela (la Sainte). Sans doute les anciens habitants de la contrée éprouvaient un sentiment d'effroi religieux à la vue de cette colline boisée, de ces flots qui l'assiégent et de cette étroite lagune de sable qui la prolonge vers le continent et se perd au loin dans la brume.

C'est au même ordre de phénomènes qu'il faut rattacher la prolongation graduelle de ces langues de terre qui, baignées de part et d'autre par un courant, se projettent à une grande distance en pleine mer, grâce à la pointe terminale qu'y ajoute chaque nouvelle marée. Ainsi en moins de

soixante années le cap Ferret s'est avancé de 5 kilomètres en travers du chenal qui fait communiquer le bassin d'Arcachon avec la haute mer. En 1768, le cap se trouvait presque à l'ouest

POSITIONS DIVERSES DU CAP FERRET DE 1768 A 1863.

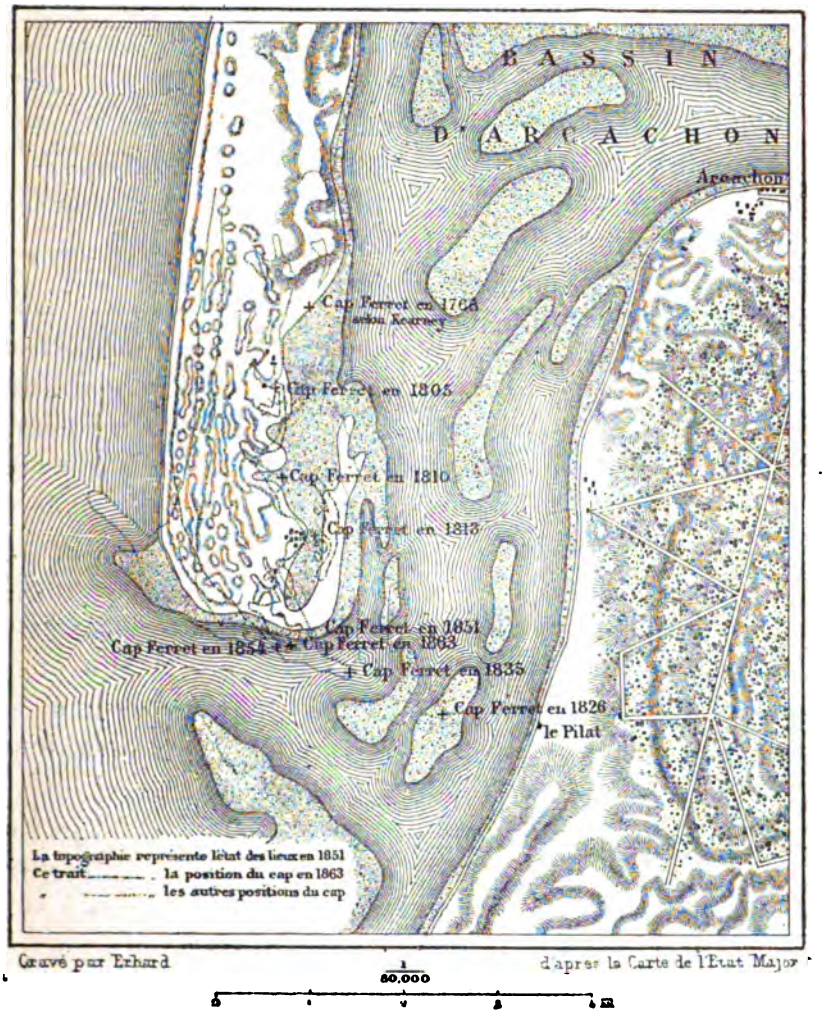


Fig. 78

de l'entrée du bassin proprement dit. Pendant la fin du XVIIIe siècle et au commencement du nôtre, les vents de la région du nord, qui soufflent dans ces parages plus fréquemment que les autres courants atmosphériques, ont fait avancer

chaque année les dunes du promontoire dans la direction du sud, tandis que la houle du large et le jusant du bassin ajoutaient sans cesse à la pointe de nouvelles masses de sable. En cinquante-huit années, de 1768 à 1826, le cap se prolongea de 5 kilomètres vers le sud-est, avec une vitesse moyenne de 86 mètres par an, ou de 20 à 25 centimètres par jour. La pointe croissait pour ainsi dire à vue d'œil; mais quelques années après, la passe ayant brusquement changé de direction et s'étant portée au nord, le courant de marée se mit à ronger la péninsule et la fit peu à peu reculer vers le nord-ouest. En 1854, l'extrémité du cap avait rétrogradé de 1,800 mètres. Actuellement elle empiète de nouveau sur la mer dans la direction du sud; depuis 1860, la pointe de sable s'est prolongée d'environ 1 kilomètre et en même temps élargie de plus de 500 mètres du côté de l'Océan.

VI.

Bas-fonds du littoral. — Dépôt de roches calcaires. — Aspect des grèves et des plages.

A la formation des cordons littoraux se rattache celle des bas-fonds et des bancs de sable qui se développent parallèlement au rivage sous l'influence combinée des courants du littoral et des vents du large. En voyant les cartes marines qui indiquent la forme des remparts cachés sous les flots, on ne peut manquer de constater que ces levées invisibles de sable et de vase tendent à s'allonger en ligne droite ou suivant des courbes gracieuses, non moins régulières que celles des cordons littoraux. Dans tous les golfes, dans tous les détroits, sur les côtes de la Californie, des Carolines, du Brésil, dans la Manche et dans la mer du Nord, il existe, le long des côtes, une multitude de ces bancs dont la disposition indique exactement la marche des courants contraires ou parallèles

qui les ont formés en se rencontrant. Leur profondeur varie : il en est sur lesquels les grands navires peuvent voguer sans danger, mais il en est d'autres, très-rapprochés de la surface des eaux, sur lesquels les flots écument incessamment. Ce sont ces bancs déposés à quelques mètres à peine au-dessous du niveau de la mer qui sont les plus redoutables; aussi les matelots anglais et américains, en pensant au sort qui les attend peut-être sur ces sables cachés, leur ont-ils donné gaiement le nom ironique de « poêles à frire » (*frying-pans*).

Dans les golfes largement ouverts et le long des côtes rectilignes, la mer procède à la construction de nouveaux

RADE DE LA MADELEINE, EN CALIFORNIE.

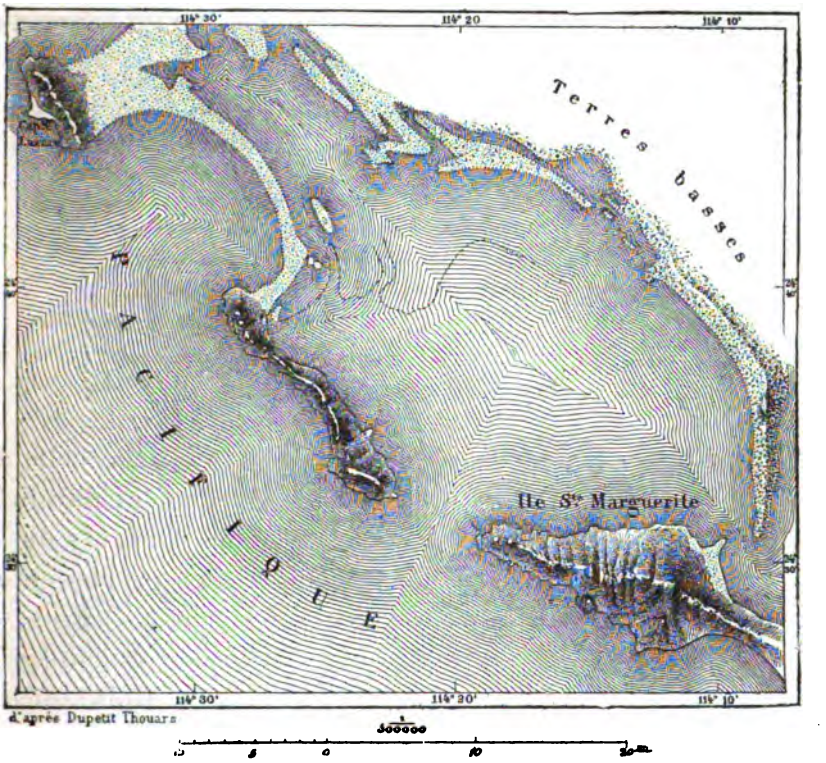


Fig. 79.

rivages par voie d'envasement. Les débris d'algues et d'animalcules, mélangés au sable et à l'argile, sont déposés par couches profondes sur le bord, et font avancer peu à peu le

profil des rivages. C'est par centaines de millions et par milliards de mètres cubes que la boue s'est accumulée depuis l'ère historique dans l'ancien golfe du Poitou, dans le golfe de Carentan, situé à la racine de la péninsule du Cotentin, dans les baies du Marquenterre et des Flandres, dans certains estuaires des Pays-Bas et de la Frise. En ces parages l'eau et la terre se confondent : la mer, grise ou jaunâtre, ressemble à une immense vasière, et continue la surface limoneuse des bords; on ne sait point où commence la masse liquide, ni où

GOLFE DE CARENTAN.

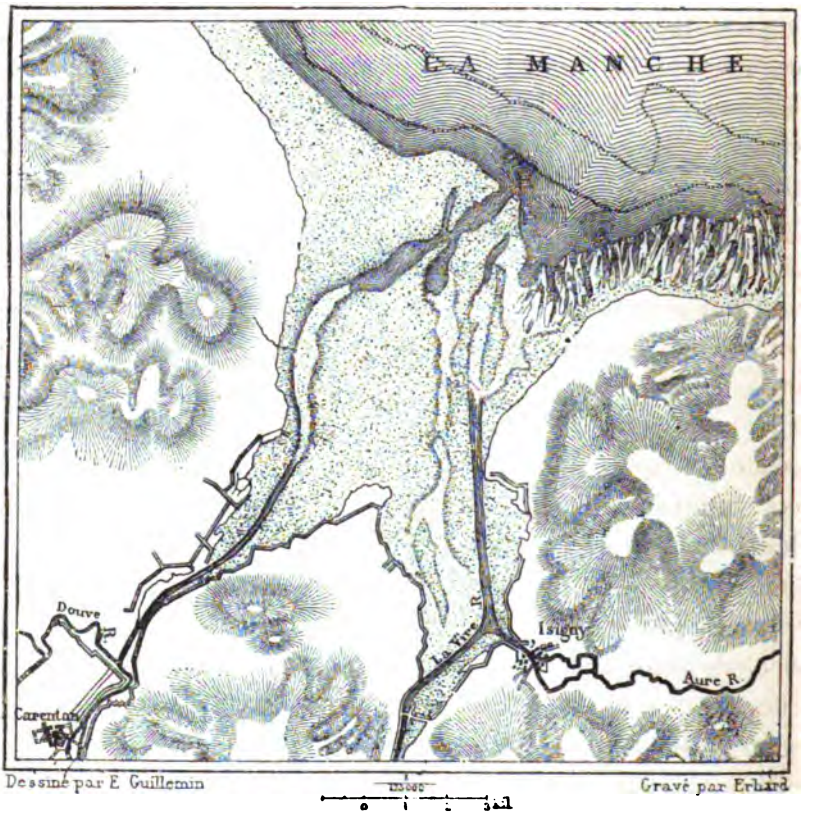


Fig. 80.

se termine le champ de boue, incessamment remué par le flot de marée. Toutefois les vases qui émergent à basse mer se tassent et se consolident peu à peu ; une espèce de conferve en recouvre la surface d'un léger tapis nuancé de rose; puis

viennent les salicornes herbacées qui contribuent à l'exhaussement du sol par leurs branches roides et sortant de la tige à angle droit. A cette première végétation succèdent d'autres plantes marines, les *carex*, les *plantago*, les joncs, le trèfle rampant. Alors il est temps de conquérir pour l'agriculture la prairie limoneuse, et de la rattacher au continent en la défendant par de fortes digues contre les assauts des flots [1].

Dans les mers dont les eaux ont une température moyenne élevée, les vagues ne se bornent pas à construire des cordons littoraux et à combler les baies, elles bâtissent aussi de véritables remparts de pierre. Par suite de la rapide évaporation que produisent les rayons du soleil, les molécules calcaires contenues dans l'eau et l'embrun des vagues se déposent graduellement le long des plages et sur la base des promontoires. Mélangées avec du sable et des débris de coquillages, elles finissent par former de solides rivages aux contours réguliers. Déjà, sur les côtes atlantiques de la France, à Royan, par exemple, on peut observer çà et là quelques formations de ce genre; on a même découvert beaucoup plus au nord, à Elseneur, de ces pierres qui contenaient d'anciennes monnaies danoises [2]. Sur les rivages de la Méditerranée française, ces roches modernes sont nombreuses, et dans une courte promenade on peut souvent recueillir une grande quantité de blocs sablonneux et de conglomérats unis par des sédiments calcaires et contenant des multitudes de coquillages brisés : le musée de Montpellier possède même un canon qu'on a découvert près de la grande bouche du Rhône sous une couche de chaux cristalline. Sur les côtes septentrionales de la Sicile, où la température moyenne des eaux s'élève à 18 degrés centigrades, les pierres et les galets du bord sont en beaucoup d'endroits agglutinés par le ciment calcaire [3]. De même les débris de rochers que les torrents de l'Arabie Pétrée apportent tous les hivers du haut des montagnes sur la plage de la mer

1. Émile de Laveleye, *Revue des Deux Mondes*, 1er nov. 1863. — Von Maack. *Zeitschrift für die allgemeine Erdkunde*, janv. 1860.

2. Von Hoff, *Veränderungen der Erdoberfläche*, tome III, p. 314.

3. De Quatrefages, *Souvenirs d'un naturaliste*.

Rouge sont, dans l'espace de quelques semaines, convertis en une strate de solide conglomérat. Chaque année, une nouvelle couche de pierre s'ajoute aux anciennes, et dans les siècles futurs on pourra peut-être évaluer l'âge de la formation par le nombre de ses lits superposés, de même que l'on reconnaît l'âge d'un arbre par la quantité de ses couches corticales [1].

Il faut parcourir les rivages de la mer des Antilles ou d'autres mers tropicales pour observer ce travail de la formation des pierres dans toute son activité. Là, les flots, échauffés jusqu'à 32 degrés par les rayons d'un soleil vertical, laissent déposer le calcaire en quantités suffisantes pour que l'étendue des rivages en soit notablement augmentée. Le tuf de la Guadeloupe, dans lequel on a trouvé le fameux squelette de Caraïbe exposé au Musée britannique, appartient à cette formation récente. Il s'accroît, pour ainsi dire, sous les yeux mêmes de l'observateur, et recouvre peu à peu d'une croûte rocheuse tous les objets que rejette la mer et qu'apportent les ruisseaux. En plusieurs endroits de la Côte-Ferme, on exploite activement ces carrières de pierre marine pour la construction des villes du littoral, et toutes les excavations qu'on pratique dans ces bancs de calcaire sont bientôt comblées par de nouveaux matériaux. La carrière croît sous les travailleurs occupés à en détacher les blocs : de là le nom de *Maçonne-bon-dieu* que les nègres ont donné à ces roches qui semblent renaître d'elles-mêmes.

Sur les rivages de l'île de l'Ascension, M. Darwin a trouvé de ces conglomérats calcaires d'origine marine dont le poids spécifique était de 2,63, c'est-à-dire à peine inférieur à celui du marbre de Carrare. Ces couches de pierre compacte déposées par la mer renferment une certaine quantité de sulfate de chaux, ainsi que des matières animales qui sont évidemment le principe colorant de toute la masse. Parfois l'enduit translucide qui recouvre les rochers a le poli, la dureté et les reflets des coquillages; d'ailleurs, ainsi que le prouve l'analyse chimique, cette espèce d'émail et les enve-

1. Marsh, *Man and Nature*, p. 455.

loppes des mollusques vivants sont composées des mêmes substances, également modifiées par la présence de matières organiques. M. Darwin a vu de ces dépôts calcaires dont la composition et l'aspect nacré semblent devoir être attribués à des excréments d'oiseaux saturés d'eau salée [1].

De même que la formation graduelle des dunes et le soulèvement des roches du littoral, la construction de nouveaux rivages, dues soit à la mer elle-même, soit à des coraux, peut avoir pour résultat de modifier complétement la forme de la côte en séparant du reste de la mer de larges baies que la rapide évaporation de l'eau change ensuite en terre ferme. C'est ainsi que sur la côte orientale d'Afrique, le petit lac de Bahr-el-Assal, à l'extrémité du golfe de Tedjura, s'est trouvé séparé de la mer par une mince levée de sable, et s'est desséché sous les rayons du soleil; les eaux de pluie étant très-rares dans ce pays, et le bassin ne recevant aucun affluent, ses eaux n'ont pas été remplacées, et maintenant il n'est plus qu'une cavité marécageuse, dont le niveau est situé à 173 mètres au-dessous de la mer Rouge [2]. En relevant les côtes d'Abyssinie, pendant la dernière guerre, les ingénieurs anglais ont découvert un autre bassin, qui se trouve à 58 mètres en contre-bas de la mer, et dont les couches de sel entourent le volcan d'Artali [3]; il est aussi très-probable que le lac Abhebbad, dans lequel va se perdre la grande rivière Haouach, au sud du plateau d'Habesch, est également inférieur à la surface marine [4]. Aristote et, de nos jours, Caillaud avaient dit aussi de quelques oasis, notamment de celle de Siouah ou de Jupiter-Ammon, qu'elles se trouvent au-dessous du niveau de la Méditerranée, et le voyageur Gerhard Rohlfs a désormais mis hors de doute qu'une dépression, commençant à la grande Syrte et passant au sud de la Cyrénaïque ou plateau de Barca, va rejoindre en Égypte l'oasis de

1. Darwin, *Volcanic Islands*, p. 49 et suiv.

2. Rochet-d'Héricourt, *Voyage au Choa*; Christophe, *Journal of the Geographical Society*, t. XII.

3. Munzinger, *Zeitschrift für die Erdkunde*, 1869.

4. Johnston, *Travels in Southern Abyssinia*, I, p. 208.

Jupiter-Ammon, situé à 50 mètres en contre-bas du port d'Alexandrie : les plateaux situés entre le Delta du Nil et les Syrtes se trouvent ainsi changés en une immense presqu'île. A l'ouest du golfe de Gabès, la Tunisie forme le pendant géo-

LE BAHR-EL-ASSAL ET LE GOLFE DE TEDJURA.

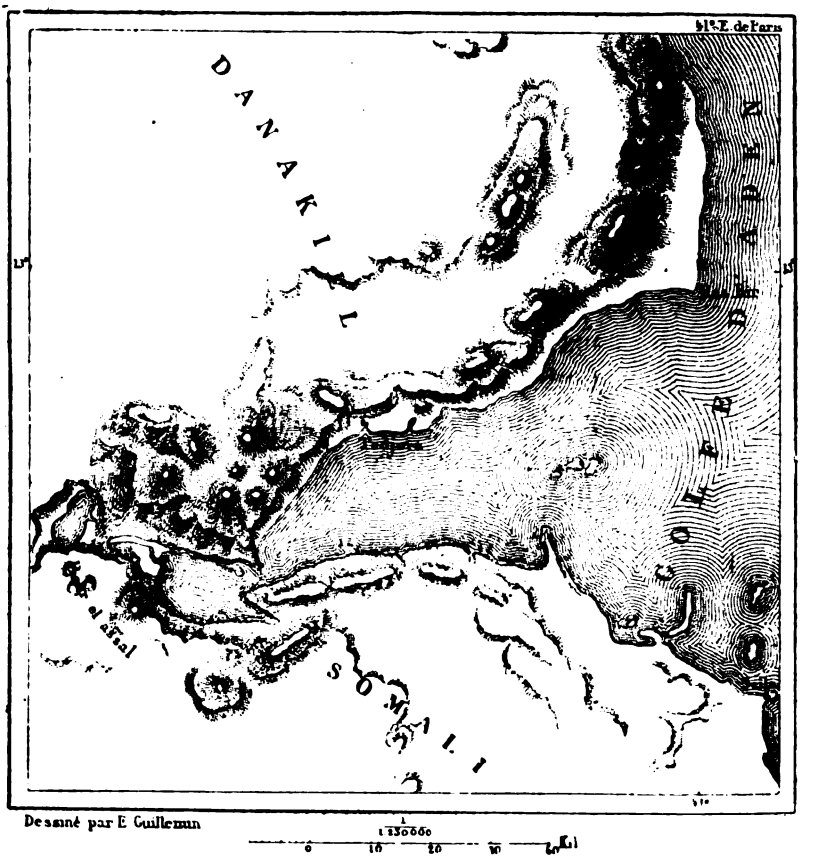


Fig. 81.

logique du plateau de Barca, puisqu'il est également limité au sud par des *sebkhas* et des *chotts*, qui jadis étaient des bras de mer, et que le soleil et les vents du Sahara ont presque entièrement desséchés; ils se trouvent, en certains endroits, à 20 et même à 85 mètres au-dessous du niveau marin[1].

1. Dubocq, Martins, Lavigne. — Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Plaines*.

De même, sur les côtes de Californie, une partie du désert du Colorado est un ancien fond de mer où le percement de la côte ferait soudain rentrer les flots[1]. Enfin, dans l'ancien monde, les bassins de la Caspienne et de la mer Morte présentent, en d'énormes proportions, les mêmes faits géologiques[2]. L'isthme de Suez offrait naguère un phénomène semblable à celui de la levée de Tedjura. Là aussi des nappes lacustres qui faisaient autrefois partie de la mer avaient été enfermées dans les terres par des cordons littoraux et s'étaient presque entièrement évaporées. Seulement, de nos jours, le grand canal interocéanique fait couler de nouveau les eaux marines à travers ces lacs naguère desséchés. Les anciennes levées des bords de la Méditerranée et de la mer Rouge, que les forces à l'œuvre dans l'intérieur de la planète avaient graduellement redressées à la hauteur de plusieurs mètres[3], ont été percées par les ingénieurs, et maintenant un détroit artificiel, bien plus important pour les progrès humains que ne le fut autrefois le grand bras de mer, joint la Méditerranée et le golfe Arabique.

Si les grands travaux géologiques de l'Océan, tels que l'érosion des falaises, le rasement des promontoires, la construction de nouveaux rivages, surprennent l'esprit de l'homme par leur grandeur, d'un autre côté les mille détails des plages et des grèves charment par leur grâce infinie et leur étonnante variété. Tous ces innombrables phénomènes du grain de sable et de la goutte d'eau sont produits par les mêmes causes qui déterminent les grandes révolutions du rivage. A la vue des lignes délicates que le flot mourant trace sur le bord, aussi bien qu'en présence des côtes sauvages que la houle ronge avec fureur, on se sent ramené, mais par des impressions diverses, à la contemplation des mêmes lois générales. Chaque vague accomplit sur sa petite portion du rivage une œuvre semblable à celle de la grande mer sur le pourtour de

1. Bell, *Journal of the Geographical Society*, 1867.

2. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs et les Marais*.

3. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre*.

tous les continents. Dans l'espace de quelques mètres à peine, on peut voir s'arrondir les courbes régulières de petites anses, s'élever des cordons littoraux, se former des lagunes intérieures, s'éroder des falaises de coquillages et de fucus. Au fond de certaines baies suffisamment abritées, par exemple dans l'anse de Beaulieu, près de Nice, on voit sur le bord de la mer des masses noires de 3 à 4 mètres de hauteur, coupées à pic et percées de cavernes comme des rochers : ce sont des amas d'algues marines.

Parmi les diverses merveilles des plages, rien n'étonne plus au premier abord que les dessins tracés sur le sable avec une régularité souvent absolue. En déferlant, chaque lame apporte avec elle des coquillages, des cailloux, des débris de toute espèce et de différente grandeur. Ces objets sont autant de petits écueils qui divisent la vague à son retour dans la mer, et lui font dessiner snr le sol un réseau de lignes entrecroisées. La surface de la plage présente en conséquence un lacis d'innombrables losanges, tous ornés d'un coquillage ou d'un caillou à leur extrémité supérieure, pointue ou légèrement arrondie. Tous ces petits losanges sont eux-mêmes compris dans l'intérieur de grands quadrilatères formés par des sillons ayant pour point de départ un objet de dimensions relativement considérables. Le contraste des couleurs vient en aide au relief pour varier encore davantage cette marqueterie de la plage. Les matériaux diversement nuancés, étant en général d'un poids spécifique différent, se sont distribués d'une manière régulière dans les diverses parties des losanges : un côté de la figure peut être formé de petits cristaux micacés, tandis qu'un autre se compose de sable noir chargé de tourbe, un autre de coquillages roses ou jaunâtres, et le quatrième de grains d'un blanc pur. Parfois le sable, imprégné de substances organiques, brille des reflets de la moire ou s'irise légèrement, comme si une mince couche d'huile s'étendait sur le sol.

Toutes ces nuances modifient à l'infini l'aspect des plages, et la plus ou moins grande inclinaison du sol introduit encore un nouvel élément de variété dans le réseau des lignes. Dans

tous les endroits où la pente est assez considérable, l'eau ravine les sables en figurant des miniatures de fleuves avec leurs tributaires et leurs deltas. En outre, ces petits systèmes hydrographiques diffèrent eux-mêmes les uns des autres suivant l'inclinaison du sol et le poids des grains de sable; tantôt le sol déclive et la finesse des matériaux déplacés permettent aux gouttelettes et aux filets d'eau de descendre en droite ligne vers la mer; tantôt les ruisselets, cheminant péniblement entre les obstacles qui les arrêtent, coulent en méandres tremblotants. Ailleurs, ces cours d'eau de quelques mètres ou de quelques décimètres de longueur ne peuvent pas même se former. L'eau de la mer séjourne sur la plage horizontale, et toutes les vaguelettes reproduisent en creux et en relief sur le sable du fond les mouvements que le souffle de l'air leur imprime. Il n'y a point de différence appréciable entre la surface mamelonnée de la plage exposée librement au vent et celle du sable que recouvre une mince couche aqueuse, si ce n'est peut-être que les sillons de la flaque sont plus réguliers et plus profondément creusés.

Parmi les innombrables phénomènes qui pourraient retenir un géologue pendant toute sa vie sur le bord de la mer, il faut encore compter des espèces de volcans en miniature. En déferlant régulièrement sur la plage, la vague apporte chaque fois une certaine quantité de sable qu'elle étale en une mince couche. Aussitôt l'air, entraîné dans les pores du sol, se dégage en bulles pétillantes; mais il reste toujours un grand nombre de molécules aériennes qui ne peuvent traverser la couche humide de sable, et restent enfermées. Sous l'influence de la chaleur du sol ou de l'air ambiant, ces molécules se dilatent peu à peu, la pression du gaz soulève la pellicule durcie et forme un cône qui se fend quelquefois par suite de la pression intérieure et projette en fusées de petites gerbes de grains de sable. Il est vrai que les promeneurs distraits marchent sur des milliers de ces humbles volcans sans même en apercevoir un seul, mais ceux-là peuvent facilement les découvrir et les étudier, qui aiment la terre sous tous ses aspects, et contemplent avec la même admiration le

grain de sable et les montagnes. Pour le naturaliste qui voit d'immenses forêts dans chaque amas d'algues, un monde d'animaux dans les débris qui jonchent le sable, les mille prodiges de la grève ne peuvent manquer d'éveiller toujours une joie profonde.

VII.

Origine des îles. — Iles d'origine continentale : rochers des rivages; îles de dépression, de soulèvement, d'érosion. — Iles d'origine océanique : atolls et volcans.

A la vue des grands travaux géologiques accomplis par le choc des vagues sur le littoral des diverses parties du monde, les savants se sont fréquemment demandé quelle est la part de la mer dans la formation des îles. Parmi ces terres qui parsèment la surface de l'Océan, les unes disposées en groupes ou en séries, les autres complétement solitaires, comment distinguer celles que la mer a détachées des continents et celles qui de tout temps ont existé d'une manière isolée comme des mondes à part? Est-il même possible, dans l'état actuel de la science, de tenter une classification des îles suivant leur origine? Oui, cette œuvre peut être commencée. En appelant à son aide les ressources nouvelles que la botanique et la zoologie offrent à la géographie physique, il est permis désormais d'affirmer que tôt ou tard on pourra indiquer avec certitude le mode de formation et l'âge relatif de chaque terre océanique[1].

D'abord il est évident que les îles, les îlots et les écueils rocheux situés dans le voisinage immédiat des côtes sont une dépendance naturelle des continents et en font géologiquement partie. A la base des hautes montagnes qui projettent au loin dans la mer des caps avancés, semblables aux racines

1. Voir surtout les travaux de Darwin, de Wallace, et une étude de M. Oscar Peschel, *der Ursprung der Inseln; Ausland,* janv. et fév. 1867.

d'un chêne, on peut en maint endroit voir, pour ainsi dire, se continuer sous la nappe de l'Océan la crête des chaînons secondaires. Le profil des hauteurs continentales s'abaisse par degrés : aux monts succèdent les collines, puis le promontoire de rochers dont les escarpements plongent sous la couche unie des eaux. Un faible détroit, simple échancrure où se rencontrent les vagues, sépare le cap d'une île moins élevée; mais plus loin s'ouvre un large canal, et la cime qui se montre à la surface, de l'autre côté de la vallée sous-marine, n'est plus qu'une aiguille de rocher. Au delà s'étend la haute mer, où les écueils submergés, s'il en existe encore, ne se révèlent que par l'écume blanchissante. Sur toutes les côtes abruptes, ces îlots appartenant à l'architecture primitive du continent sont fort nombreux, et même en certains parages forment de véritables archipels. La Norvége, l'Écosse occidentale, la Patagonie chilienne et toutes les contrées où les fjords changent le littoral en un immense labyrinthe, sont ainsi bordées d'îles innombrables ayant également leurs découpures, leurs détroits, leurs ceintures d'îlots. C'est que, depuis la retraite relativement récente des glaciers qui remplissaient tout l'espace compris entre les cirques des plateaux neigeux et les promontoires extérieurs, le relief primitif n'a que faiblement changé; les alluvions terrestres apportées par les torrents n'ont comblé qu'un petit nombre de vallées, et les bases des îles et des caps, plongeant trop profondément sous les eaux, n'ont pu servir de point d'appui à des alluvions marines semblables à celles qui s'étendent sur les côtes basses. Les rocs isolés, que les glaces entouraient jadis comme elles entourent aujourd'hui le « Jardin » du mont Blanc, se dressent maintenant au milieu des eaux; mais ils n'en sont pas moins des saillies du relief continental; en des eaux moins profondes, où le jeu des alluvions marines aurait pu facilement s'accomplir, ils seraient depuis longtemps déjà rattachés au rivage.

Parmi les îles qui doivent être considérées comme de simples dépendances des grandes terres voisines, il faut aussi ranger non-seulement celles qu'ont élevées des alluvions

marines ou fluviales, simples bancs émergés, qui se trouvent surtout le long des côtes basses et près des embouchures de rivières, mais également les îles qui sont dues soit au soulèvement, soit à l'affaissement graduel du sol. Ainsi la chaîne de dunes insulaires qui défend le littoral de la Frise et de la Hollande contre les assauts de la mer du Nord, de Wangerooge au Texel, est bien certainement un reste de l'antique littoral, et c'est elle encore, bien mieux que les rivages à demi noyés du Dollart et du Zuyderzee, qui marque la véritable limite entre la terre et les mers[1]. Par un phénomène inverse, les côtes de la péninsule scandinave, qui s'exhaussent lentement au-dessus des flots, se sont enrichies d'îles nouvelles pendant le cours de l'époque géologique actuelle. Dans le dédale des fjords norvégiens, dans les Lofoden, dans l'archipel des Qvarken, des écueils cachés sont devenus des roches visibles, puis des îles étendues où les algues ont été peu à peu remplacées par la flore terrestre. Tandis que le continent empiétait sur la mer, les îlots surgissaient çà et là et s'étalaient au loin sur les eaux, comme les feuilles de quelque plante gigantesque. Les roches insulaires montent lentement du fond de l'Océan, soulevées par la même force qui redresse le continent voisin. D'ailleurs pareil phénomène ne s'est pas accompli seulement sur les côtes de la Scandinavie. Peut-être même la grande île d'Anticosti, qui s'étend dans le golfe de Saint-Laurent sur une longueur de plus de 200 kilomètres, est-elle une de ces terres lentement exhaussées; car, d'après le témoignage de M. Yule Hind, on ne verrait dans les vallons granitiques de ses collines ni serpents ni batraciens comme sur les côtes du Labrador et du Canada. S'il en est vraiment ainsi, on ne pourrait guère admettre qu'Anticosti ait jamais été en communication avec le continent d'Amérique; elle a dû surgir des eaux comme les îlots du littoral scandinave.

Les choses se sont passées différemment pour la Grande-Bretagne et la plupart des îles qui frangent le pourtour des masses continentales. Il est certain que l'Angleterre faisait

1. Voir, ci-dessus, p. 191.

autrefois partie de l'Europe. Cela est prouvé par la concordance parfaite de l'un et l'autre rivage du Pas-de-Calais [1]; cela est aussi prouvé par la faune et la flore de la grande île Britannique, dont tous les animaux, toutes les plantes sauvages sont des colons venus du monde voisin; pas une seule espèce n'appartient en propre, comme production spontanée, au sol de l'antique Albion [2]. De la même manière, l'Irlande a été séparée de la Grande-Bretagne pendant la période géologique actuelle, et sur le pourtour des deux îles principales, nombre de fragments secondaires, Wight, Anglesey, les Sorlingues, se sont également isolés au milieu des flots.

Une multitude d'îles, situées, comme l'Angleterre et l'Irlande, dans le voisinage des continents, sont aussi de simples débris, que les vagues, aidées peut-être par l'affaissement graduel du terrain, ont détachés des rivages de la grande terre. Le magnifique archipel de la Sonde, les Moluques et les îles voisines de l'Australie offrent le plus remarquable exemple de ce morcellement des masses continentales. Un canal d'une trentaine de kilomètres de largeur et d'une profondeur de plus de 200 mètres passe entre les deux grandes îles de Bornéo et de Célèbes, et, se continuant dans la direction du sud, sépare les deux terres volcaniques, très-rapprochées l'une de l'autre, de Bali et de Lombok. Ce canal est l'ancien détroit qui servait de limite commune à l'Asie et au continent austral. A l'ouest, Java, Borneo, Sumatra, la péninsule de Malaisie, le Cambodge, reposent sur un plateau sous-marin qui s'étend à 60 mètres à peine au-dessous de la surface des eaux; à l'est, Sumbava, Florès, Timor, les Moluques, la Nouvelle-Guinée, l'Australie, se trouvent également sur une sorte de piédestal qui s'est graduellement affaissé, et sur lequel les zoophytes construisent çà et là de longues barrières d'écueils. Ainsi que le naturaliste Wallace l'a démontré par ses recherches dans l'archipel Indien, toutes les espèces, plantes et animaux, diffèrent complétement de chaque côté du canal de séparation : faune et flore sont

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Premiers Ages*, et, ci-dessus, p. 174.

2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Flore*.

asiatiques à l'ouest, tandis qu'à l'est elles présentent le type australien ; même les oiseaux, pour lesquels un détroit de quelques lieues de largeur semble portant un bien faible obstacle, diffèrent nettement dans chacun des deux groupes d'îles.

Il faudrait donc voir dans les archipels australiens les débris d'une grande masse continentale qui se serait partagée en de nombreux fragments à des époques plus ou moins éloignées de nous. On peut en dire autant des îles de la mer Égée, de celles du Danemark, de l'archipel polaire du nouveau monde, du dédale des îles magellaniques et de la plupart des terres qu'entourent des eaux peu profondes dans le voisinage des côtes. Quant aux grandes îles de la Méditerranée, Chypre, la Crète, la Sicile, la Sardaigne, la Corse, les Baléares, elles sont aussi très-probablement les restes de contrées plus étendues qui se rattachaient à ces parties du monde devenues aujourd'hui l'Asie, l'Europe et l'Afrique ; car bien que ces terres, à l'exception de la Sicile, surgissent toutes du fond d'abîmes ayant en moyenne de 1,000 à 2,000 mètres de profondeur, cependant les espèces fossiles et vivantes des îles méditerranéennes ne diffèrent point de celles des continents voisins, et c'est là par conséquent qu'il faut en chercher l'origine. Au point de vue géologique, on peut même dire que les terres du bassin occidental de la Méditerranée, l'Espagne, la Provence, la péninsule Italique, Tunis, l'Algérie, le Maroc, forment avec les îles voisines un ensemble bien plus nettement déterminé que ne l'est, par exemple, l'Europe centrale, du détroit de Gibraltar aux bords de la Caspienne : en dépit des gouffres qui les séparent, les côtes situées en face les unes des autres, sur chaque bord de la mer Tyrrhénienne, ont gardé une physionomie semblable dans les terrains, la flore et la faune.

Les îles méditerranéennes peuvent ainsi être considérées comme les dépendances des continents voisins ou plutôt comme les restes d'une ancienne terre partiellement engloutie. Toutefois il existe au milieu de l'Océan des massifs insulaires, dans lesquels les géologues ne sauraient voir autre

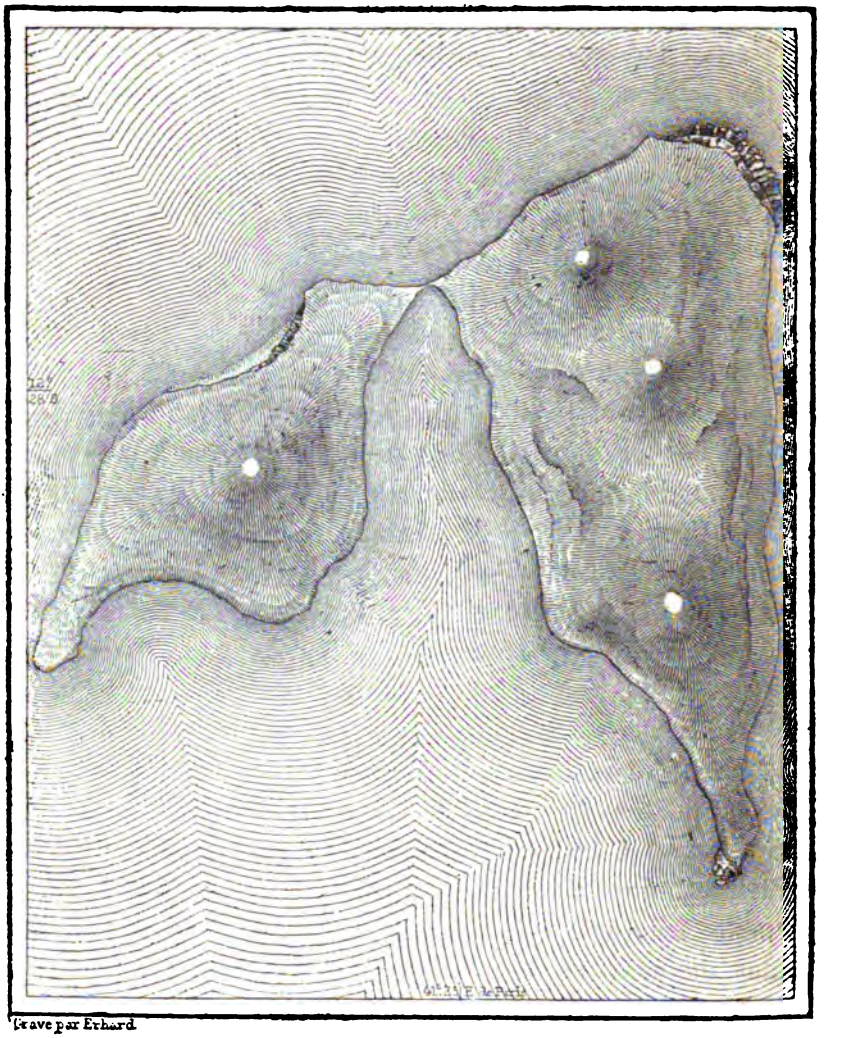
chose que les témoins d'espaces continentaux actuellement disparus. Ainsi Madagascar, pourtant assez rapprochée de l'Afrique, semble une sorte de monde à part, ayant une faune et une flore qui lui appartiennent en propre, et possédant même des familles entières, notamment de serpents et de singes, qui n'ont pas d'autres représentants sur la planète. De même, chose étrange, l'île de Ceylan, à demi réunie à l'Hindoustan par les écueils, les îlots et les bancs de sable de Pont-de-Rama, diffère beaucoup de la péninsule voisine par la physionomie générale de ses animaux et de ses plantes, et l'on peut se demander si, au lieu d'être une simple dépendance de l'Asie, elle n'est pas, au contraire, le mince débris d'un ancien continent qui s'étendait à la place de l'océan Indien, et comprenait Madagascar, les Seychelles et d'autres îles maintenant presque imperceptibles sur la carte.

Parmi les fragments de mondes disparus, il faut ranger probablement aussi la plupart des Antilles et la Nouvelle-Zélande. Les grandes Antilles présentent avec les terres de l'Amérique du Nord un contraste bien plus frappant encore que celui de Ceylan et de la péninsule du Gange. Par le relief et la nature des assises géologiques, Haïti, la Jamaïque ne ressemblent aucunement aux terres basses du littoral américain situé de l'autre côté du golfe ; leurs espèces végétales et animales diffèrent notablement de celles du continent voisin, bien que les vents, les courants, les oiseaux voyageurs et enfin les hommes aient collaboré depuis un nombre inconnu de siècles à porter de l'un à l'autre bord les animaux et les plantes. Quant à la Nouvelle-Zélande, c'est un monde tout à fait distinct, dont la flore et la faune ont un caractère essentiellement original. Ni ses espèces fossiles ni ses espèces vivantes ne ressemblent à celles de l'Australie ou de l'Amérique du Sud [1]. Aussi la plupart des savants se rangent-ils à l'opinion de Hochstetter, qui voit dans la Nouvelle-Zélande et dans l'île de Norfolk les fragments d'un continent isolé

1. Voir, ci-dessous, les chapitres intitulés *la Terre et sa Flore, la Terre et sa Faune.*

depuis l'antiquité géologique la plus reculée. Tandis que la Grande-Bretagne peut être considérée comme le type des îles à peine séparées du continent voisin, sa belle colonie des antipodes représente, au contraire, un ancien monde gra-

CHOA-CANZOUNI.



Gravé par Erhard.

Fig. 82.

duellement réduit par les érosions de la mer et les affaissements aux dimensions d'un simple groupe insulaire.

La forme actuelle des îles permet souvent de reconnaître

quelle était leur forme antérieure, alors qu'elles s'étendaient sur un espace beaucoup plus considérable. Par leur relief et leurs ramifications, les arêtes montagneuses indiquent d'une

NOSSI-MITSIOU.

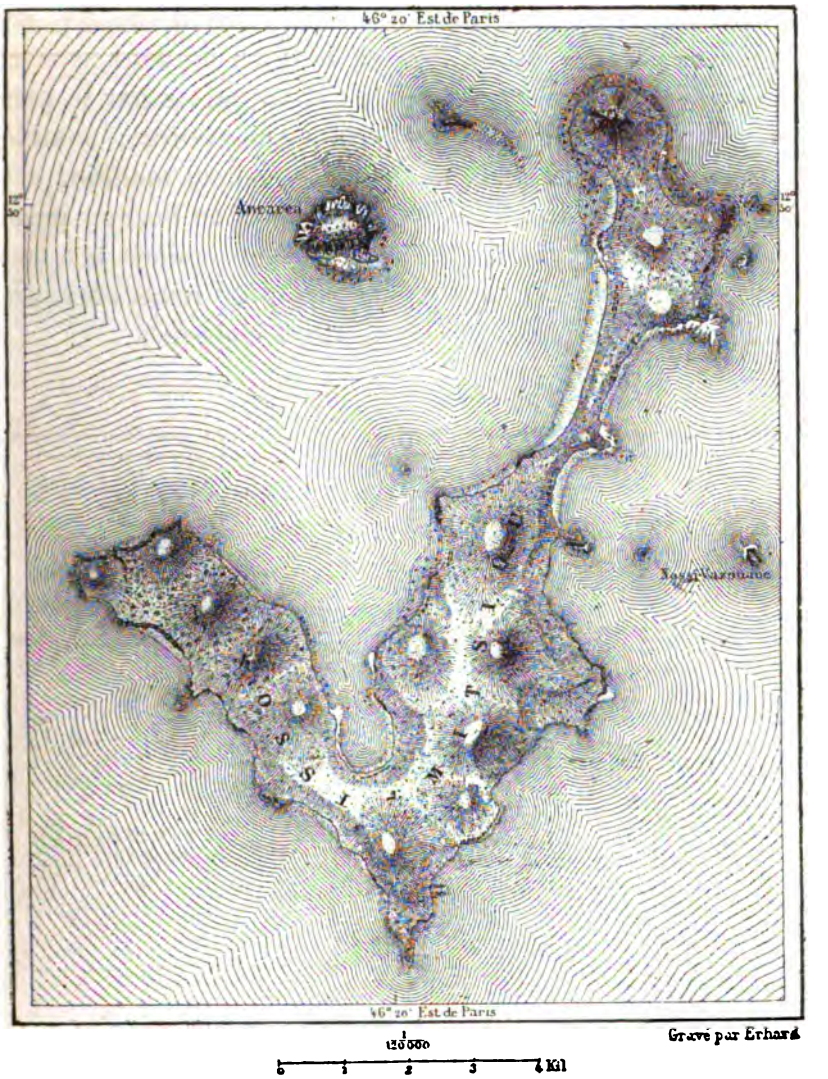
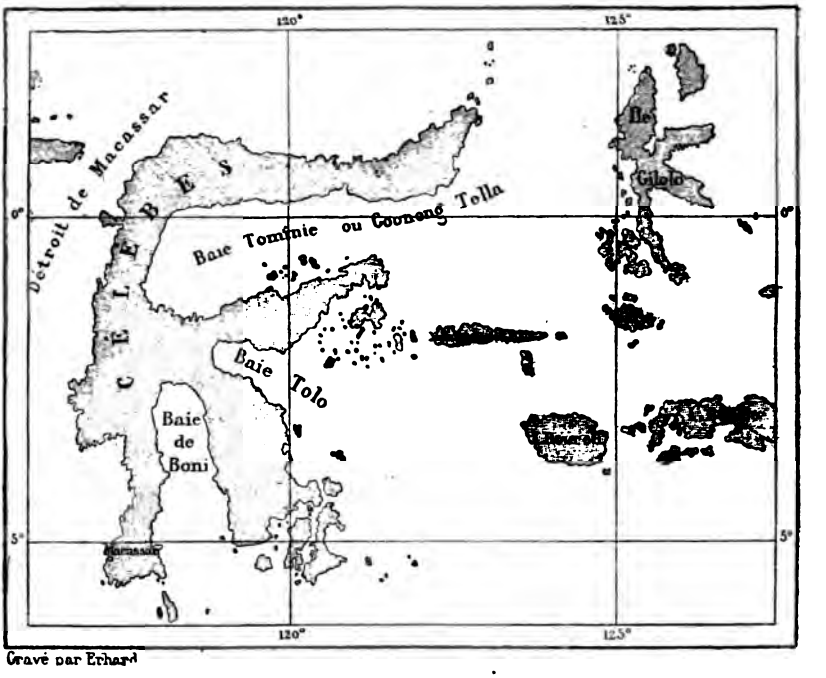


Fig. 83.

manière générale la configuration première; ce sont comme des fragments d'un squelette autour duquel on reconstruit par la pensée les contours de l'ancien corps continental. D'ail-

leurs, plusieurs de ces îles, dont il ne reste que l'ossature primitive et dont les plaines ont disparu, sont déchiquetées de la manière la plus étrange et leurs rivages offrent les plus bizarres sinuosités. Ainsi Choa-Canzouni (fig. 82), dans l'archipel des Comores, est un groupe de deux îles massives unies par une sorte de pédoncule; Nossi Mitsiou (fig. 83), dans les mêmes parages, ressemble au tronçon de deux rameaux brisés; enfin Célèbes et Gilolo, si remarquables par le parallélisme de leurs golfes et de leurs promontoires, semblent être toutes les deux construites sur le même modèle, et ce que l'on sait de la direction des montagnes de Borneo permet de croire que si cette grande île s'immergeait dans les mers, ses rivages ressembleraient par la forme de leurs contours à ceux de ses deux voisines de la mer des Moluques[1].

CELÈBES ET GILOLO.



Gravé par Erhard

Fig. 84.

En dehors des fragments de masses continentales antiques

1. Oscar Peschel, *Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde*, p. 62.

ou modernes, toutes les saillies qui se montrent au-dessus du niveau de l'Océan sont des îles bâties par les zoophytes ou bien des volcans rejetés du fond des mers; telle est sans exception l'une ou l'autre origine des terres émergées. Les unes, on le sait [1], sont disposées en *atolls* ou récifs annulaires, formés eux-mêmes d'anneaux de plus petites dimensions, tandis que les cônes de laves qui s'élèvent en pleine mer dressent superbement hors des flots leurs flancs recourbés en

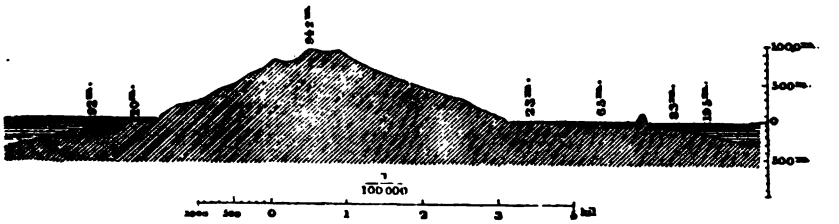


Fig. 85. — Profil de Stromboli, du S.-O. au N.-E.

forme de talus, et révèlent l'indépendance de leur origine par une déclivité qui se continue assez régulièrement sous les eaux. Toutefois on peut voir par l'exemple du volcan de Stromboli, et plus encore par celui de l'île de Panaria, que les

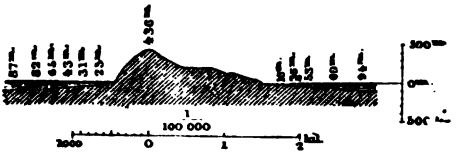


Fig. 86. — Profil de Panaria, du N.-O. au S.-E.

flots ne cessent d'adoucir les pentes sous-marines en distribuant au loin les laves et les cendres rejetées par les cratères.

Comparées aux terres d'origine continentale, les corps vraiment insulaires composés de laves ou bâtis par les coraux ont une étendue relativement très-faible. Il semble que d'après l'ordonnance générale du globe la séparation devait être pri-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre*, et, ci-dessous, le chapitre intitulé *la Terre et sa Faune*.

mitivement beaucoup plus tranchée entre la mer et les espaces émergés. D'un côté, de grandes terres continues, de l'autre des océans déserts, telle paraît avoir été la distribution naturelle ; mais l'incessant travail qui s'accomplit sur notre planète, comme sur tous les astres du ciel, a modifié à l'infini la forme des reliefs continentaux et des cavités qui les séparent. De même que, par ses pluies et ses neiges, la mer a parsemé de lacs les régions soulevées au-dessus de son niveau et tracé les innombrables vallées des eaux courantes, de même les terres ont donné à l'Océan ces myriades d'îles et d'îlots qui en varient si gracieusement la surface. Les alluvions des fleuves, la puissance érosive des vagues, les forces intérieures qui soulèvent ou dépriment lentement de vastes contrées et font jaillir brusquement des cônes de lave, enfin les innombrables organismes qui mettent en œuvre les substances contenues dans l'eau marine, tous ces agents géologiques ont travaillé de concert à égrener çà et là des îles de formes et de grandeurs diverses, les unes en amas, les autres en petits groupes ou même complétement isolées. Ensuite les vents, les pluies, les trombes et autres météores de l'atmosphère, les courants océaniques, le flux et le reflux, les ondulations des vagues, tout ce qui se meut et tout ce qui flotte dans les eaux et dans les airs, — oiseaux et poissons, algues et bois de dérive, écume et poussière, — n'ont cessé d'agir directement ou indirectement pour introduire la vie dans ces îles, les peupler d'espèces animales et végétales, et les préparer ainsi au séjour de l'homme.

CHAPITRE V.

LES DUNES.

I.

Dunes provenant de la décomposition des roches. — Formation des dunes mobiles sur le rivage de la mer. — Disposition symétrique des rangées de sable.

C'est principalement au-dessus des plages sablonneuses de l'Océan que s'allongent les rangées de monticules changeants connus sous le nom de dunes ; cependant le phénomène du redressement des sables en collines mouvantes peut s'accomplir également à une grande distance du rivage actuel des mers. Les dunes se forment sur tous les points du globe où le vent trouve et pousse devant lui de légers matériaux arénacés ; mais, il faut le remarquer, ces matériaux n'existent en quantités considérables que sur le rivage des mers et des grands bassins lacustres, sur les fonds des anciens golfes et détroits transformés en déserts, sur le bord des fleuves qui roulent des sables dans leurs lits et qui sont exposés à de fréquents changements de niveau par l'alternance des sécheresses et des inondations. Ce sont les eaux qui, par leur action destructive sur les falaises, préparent les molécules sableuses nécessaires à la construction des dunes, et cette origine permet de considérer les rangées mobiles de sable, quelle que soit leur distance des rivages, comme des produits de l'Océan.

Dans tous les grands déserts de l'Asie et de l'Afrique, on voit de ces vagues terrestres qui se déplacent lentement sous l'impulsion des courants aériens [1]. Il en existe aussi sur le

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Plaines*.

bord du Nil et de plusieurs autres grands fleuves. En France même, de fort belles dunes, hautes d'environ 10 mètres, s'élèvent sur la rive du Gardon, immédiatement en aval du célèbre pont romain ; c'est le mistral qui les a dressées. En sortant de la gorge qui l'enfermait, ce vent s'empare des molécules de sable fin laissées sur les plages et desséchées par le soleil, puis il les dépose à l'entrée de la plaine, à l'endroit précis où il s'épand sur une plus large étendue et perd en intensité ce qu'il gagne en surface.

Un certain nombre de dunes ont été formées sur place pendant le cours des siècles par la désintégration de rochers de grès. Les brouillards, les pluies, les gelées et toutes les intempéries rongent graduellement la pierre, l'implacable chaleur du désert la fait éclater[1] et la change en sables qui s'éboulent en laissant de nouvelles couches à découvert. Celles-ci subissent à leur tour l'influence destructive des météores, et c'est ainsi que peu à peu le roc, jadis solide, devient, jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable, une masse de sable croulant. Les grains, froissés les uns contre les autres durant leur chute, deviennent de plus en plus ténus, et lorsque le vent souffle avec force, il peut enlever ces molécules arénacées, leur faire remonter la pente du talus, et parfois même les soulever en tourbillons comme la fumée d'un volcan. Néanmoins la dune, enveloppant encore un noyau solide, et composée en grande partie de grains plus lourds que ceux du bord de l'Océan, ne se déplace point tout entière sous l'action des tempêtes ; elle prend seulement une autre forme par suite du changement graduel de ses pentes en talus d'éboulement. Ainsi les dunes qui entourent le Chott Melr'ir sont d'anciennes collines érodées par les eaux. Près de Ghadamès, plusieurs montagnes de ce genre, qui furent autrefois des assises de grès, s'élèvent à 150 et 200 mètres de hauteur : l'une d'elles, qui n'a pas moins de 155 mètres, offre du côté exposé au vent une inclinaison de 37 degrés : c'est à peu près la pente la plus forte que puisse présenter un talus de sable[2].

1. Vattone, *Mission de Ghadamès ;*—Barth, *Zeitschrift für Erdkunde,* mars 1846.
2. Wetzstein, Livingstone, Oscar Fraas, etc.

Quant aux dunes proprement dites, celles qui se trouvent au loin dans l'intérieur des continents ne peuvent être comparées pour l'importance aux monts de sable qui se développent en longues rangées parallèlement aux rivages sablonneux de la mer. Sur les plages non rocheuses de l'Océan, l'existence des dunes est un fait presque constant; les seules plages qui en soient dépourvues sont celles que la houle a formées de matières argileuses, de vases compactes ou de sables fortement mélangés de détritus animaux et végétaux. Les rives sablonneuses de la Méditerranée, de la Baltique et des autres mers intérieures, où les marées sont à peine sensibles, n'offrent guère non plus que des dunes peu élevées, parce que le manque de flux et de reflux ne permet pas aux sables d'y acquérir une mobilité suffisante : cependant on en voit de plus de 30 mètres de hauteur entre la Vera-Cruz et Tampico, sur les bords du golfe du Mexique, où les marées sont très-faibles. Sur toutes les côtes océaniques dont le sable est assez meuble pour se laisser soulever par le vent, la formation des dunes s'accomplit avec une parfaite régularité.

Ces monticules se dressant pour ainsi dire sous les yeux mêmes de l'observateur, il n'est pas difficile d'en suivre les progrès ni d'en donner la théorie. Les vagues remuent constamment le fond mobile du bord, se chargent des matières arénacées et les étalent en minces nappes sur l'estran; puis à marée basse, les molécules de sable s'allégent peu à peu de leur humidité, cessent d'adhérer les unes aux autres et se laissent emporter vers la terre par le vent du large : ce sont là les matériaux des dunes. Si la plage se redressait vers l'intérieur du continent d'une manière parfaitement unie, ce sable, rejeté par les vagues au-dessus du niveau marin et reporté au loin par les bouffées successives du vent, s'étendrait sur le sol en couches d'une épaisseur uniforme; mais les inégalités de la surface empêchent qu'il en soit ainsi. Des cailloux, des épaves, des branches et des troncs d'arbres couverts de coquillages, des plantes et des arbustes aux racines tenaces, font saillie au-dessus de la plage et s'opposent à la marche du vent, qui glisse sur le sol en entraî-

nant les grains de sable restés à sec. Ces faibles obstacles suffisent pour déterminer la naissance des dunes en obligeant la brise à laisser tomber le petit nuage de poussière arénacée ou calcaire dont elle est chargée. L'horizontalité de la plage est ainsi rompue : les rangées de buttes sablonneuses, qui plus tard doivent se dresser en véritables collines, commencent à se profiler sur le sol.

Quand le vent du large souffle avec assez de force, on peut non-seulement assister à la croissance des dunes, mais on peut également aider à leur formation et vérifier par l'expérience directe les assertions de la théorie. Qu'on dépose un objet quelconque sur le sol, ou mieux encore, qu'on enfonce dans le sable une rangée de piquets perpendiculairement à la direction du vent, aussitôt le courant d'air, qui vient se

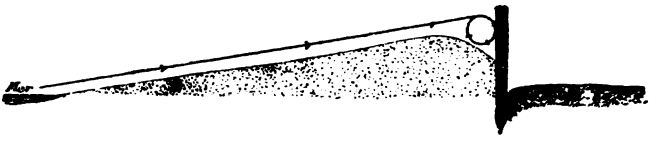


Fig. 87. — Formation de la dune.

heurter contre l'obstacle, se rejette en arrière pour former un remous ou tourbillon, dont le diamètre est toujours proportionnel à la hauteur des piquets. Arrêtés par ce remous, les grains de sable qu'apporte le vent se déposent graduellement en deçà de la barrière jusqu'à ce que la cime de la dune en miniature soit au niveau de la ligne idéale qui mène du

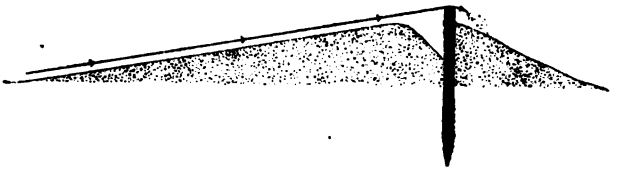


Fig. 88. — Formation du talus d'éboulement.

rivage à l'arête supérieure de l'obstacle. Alors le sable, que pousse le souffle de la mer et qui remonte le plan incliné offert par la face antérieure du monticule, ne se laisse plus entraîner dans le remous et ramener en arrière ; il franchit le

petit ravin que la giration de l'air a ménagé en avant de la palissade, et vient tomber au delà pour s'accumuler peu à peu sur la face postérieure de l'obstacle en prenant la forme d'un talus d'éboulement. C'est grâce à la connaissance de ces faits que l'on a pu forcer les éléments à construire un rempart protecteur de dunes sur divers points des côtes menacés d'érosion par les vagues de la mer [1].

Tels sont toujours les commencements de la dune, quel que soit l'objet qui s'oppose à la marche du vent. Il est aisé de s'en convaincre à la vue des maisons ou des cabanes que les douaniers et les pâtres élèvent dans les vallons sablonneux des dunes landaises non encore fixées par des semis d'arbres. Du côté de la mer, qui est également celui d'où le vent souffle en terribles rafales, la demeure reste séparée du talus de sable par un fossé de défense aussi régulier que s'il eût été creusé de main d'homme; mais du côté qui fait face à l'intérieur des terres, les sables s'entassent graduellement, et, si on ne les déblayait, ils ne manqueraient pas de s'élever bientôt à la hauteur du toit.

Sur le plateau faiblement ondulé qui s'étend au pied des grandes pyramides d'Égypte, on peut étudier aussi les mêmes phénomènes. Les vents d'est et de nord-est qui viennent frapper la face orientale des énormes masses de pierre rebondissent en arrière et, développant sur le sol leurs ondes réfléchies, ne permettent pas au sable de se déposer sur les degrés inférieurs des édifices; c'est à une certaine distance seulement, à l'endroit précis où le courant répercuté est neutralisé par les masses d'air venues directement de l'est, que se dressent les renflements de la dune. A l'orient des pyramides, au contraire, de longs talus de sable, plus ou moins inclinés, viennent s'appuyer à la base des monuments. De même, au pied de certaines falaises de la Ligurie où les sables s'accumulent en dunes, il existe toujours une sorte de fosse entre le roc et les amas mobiles.

Lorsque le travail de l'homme n'intervient pas pour

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *le Travail de l'homme*.

arrêter le progrès des dunes formées sur le rivage de la mer, les divers obstacles qui ont déterminé l'accumulation des sables disparaissent d'abord du côté du talus d'éboulement sous des couches successives; puis, quand cette partie est cachée en entier, la face antérieure commence à s'engloutir à son tour. Le vent, au lieu de se développer suivant un plan horizontal, comme sur la surface de l'Océan, est obligé de prendre une direction oblique pour remonter la pente de la dune; dès que celle-ci est assez élevée, le courant atmosphérique passe librement au-dessus de l'obstacle qui l'arrêtait auparavant, le petit remous qui tournoyait en deçà arrête ses girations, et rien n'empêche alors le sable de combler peu à peu le ravin que la répercussion du courant aérien avait maintenu devant la barrière. Bientôt l'arête de la dune coïncide avec celle de l'obstacle; celui-ci disparaît complétement; et le monticule, grandissant comme une vague qui s'approche de la rive, redressant toujours plus haut sa crête incessamment déplacée, continue d'empiéter sur les terres. Les diverses couches de sable qu'apporte successivement le vent du large gravissent jusqu'au sommet le versant maritime de la dune, puis, abandonnées à leur propre poids, s'étalent en larges nappes sur le talus d'éboulement et descendent en glissant jusqu'à la base. Dans les landes de la Gironde, la pente occidentale des dunes dont la base n'est pas rongée par la mer est en moyenne de 7 à 12 degrés. La pente orientale, qui est celle du talus d'éboulement, est de 29 à 32 degrés, c'est-à-dire trois fois plus forte. Elle serait de 45 degrés si les pluies ne ravinaient les talus et n'en prolongeaient l'inclinaison [1].

Ainsi gagnent incessamment les dunes, grâce aux nouvelles couches de sable ajoutées à leur talus changeant; mais l'action du vent dominant ne se borne pas à les agrandir; elle finit aussi par les déplacer en entier et les faire cheminer sur le sol. L'objet à la base duquel le remous de l'air avait accumulé les premiers grains de sable se décompose à la longue; les intempéries, les insectes, l'humidité, les

1. Raulin, *Géographie girondine*.

agents chimiques le détruisent, et quand il a disparu, le sable qu'il arrêtait redevient mobile. Le vent, qui n'enlevait les couches superficielles de la dune que pour les remplacer sans cesse par de nouvelles nappes de sable, peut emporter maintenant toute la partie antérieure du monticule; il allonge le talus d'éboulement aux dépens de la face maritime, et la base de la colline, rongée par le vent, s'éloigne toujours plus du rivage. La dune est en marche; elle s'avance à la conquête du continent. Telle est la mobilité des sables que même lorsque les vagues érodent le pied de la dune et la forcent à s'écrouler dans la mer, la cime n'en avance pas moins vers le continent. Détruite d'un côté, elle envahit de l'autre, comme ces êtres voraces déjà coupés par moitié qui ne cessent d'engloutir. Les hautes dunes de Lagrave, au sud d'Arcachon, sont des plus curieuses à cet égard : en bas, la mer les force à s'écrouler; en haut, elles noient les pins dans leurs masses de sable envahissantes.

Les jours les plus favorables à l'observation de la marche progressive des dunes sont ceux pendant lesquels une douce brise, assez forte toutefois pour pousser le sable devant elle, souffle d'une manière parfaitement uniforme. Du haut de la dune, on voit les innombrables grains de poussière accourir en escaladant la pente; scintillant au soleil et tourbillonnant comme des moucherons par un beau soir d'été, ils atteignent la cime, puis ils s'accumulent en forme de corniche sur le revers de l'arête, et de temps en temps ils déterminent de petits éboulements qui s'épandent sur la surface du talus comme des nappes d'eau sur le flanc d'un rocher et dont les contours rappellent ceux de légères draperies se recouvrant les unes les autres. Lorsqu'un vent de tempête souffle avec violence et par rafales successives, les empiétements de la dune s'accomplissent d'une manière beaucoup plus rapide, mais souvent plus difficile à observer. Les cimes des monticules, qu'enveloppent des tourbillons de poussière, ressemblent à des volcans vomissant la fumée; la face antérieure de la dune est labourée, ravinée par le vent; des masses de sable, chargées de débris marins apportés par la tempête,

s'écroulent avec bruit et se disposent en couches inégales sur le talus d'éboulement. Une tranchée pratiquée dans l'épaisseur de la dune permettrait de compter et de mesurer les strates d'épaisseur et de nature différentes que les vents ont successivement apportées. Telle douce brise n'a déposé que le sable fin comme la poussière, tel vent plus fort était chargé d'un lourd sable coquillier, tel orage a charrié des coquillages entiers, des branches et des épaves. Cependant les molécules transportées par le vent sont en général d'autant plus ténues qu'elles sont plus éloignées de la mer, et cela se comprend, car elles doivent s'envoler d'autant plus facilement qu'elles

Fig. 89. — Couches successives des talus de sable.

offrent moins de résistance au courant aérien qui les entraîne. Dans les étroits cordons de dunes qui bordent certaines parties du littoral de la Méditerranée, on peut voir se succéder nettement, sur une largeur de quelques centaines de mètres, les matériaux mouvants espacés suivant leur poids : d'abord ce sont les fragments de coquillages, puis les gros débris arénacés, puis les sables fins [1].

Si le plan incliné que la dune tourne du côté de la mer restait parfaitement uni, la zone du rivage n'offrirait, dans toute sa largeur, qu'un seul rempart de sable empiétant graduellement sur l'intérieur des terres ; mais à la longue, la pente de chaque dune ne peut manquer d'offrir quelques inégalités causées par des corps étrangers ou par des plantes qui prennent leur naissance dans le sable. Toutes les saillies assez fortes pour résister au vent servent de points d'appui à de nouvelles dunes entées, pour ainsi dire, sur le flanc de l'ancienne. Ces nouvelles dunes elles-mêmes se hérissent d'aspérités que recouvrent bientôt d'autres monticules de sable, et

1. Marcel de Serres, *Bulletin de la Société géologique de France*, 1859.

c'est ainsi que se dressent peu à peu toutes ces rangées de collines mouvantes que séparent d'étroites et longues vallées appelées *lettes* ou *lèdes* par les paysans des landes françaises. En certains endroits, notamment entre Biscarosse et la Teste, les lettes ressemblent, sur une longueur de plusieurs lieues, aux lits desséchés de larges fleuves entourant de leurs flots de sable de grands îlots de verdure.

Malgré le désordre apparent de ces monticules, au milieu desquels un voyageur inexpérimenté peut facilement s'égarer, la disposition générale des sables peut toujours être ramenée à un type uniforme que modifient diversement les faits géographiques locaux, les contours du rivage marin, la nature du sol, la force et la direction des vents, la présence ou l'absence de végétation. La dune la plus rapprochée de la mer, et par conséquent la plus récente, est moins élevée que le monticule plus ancien situé immédiatement au delà; de même celui-ci atteint une hauteur moins considérable que la colline suivante. Dans un système normal de dunes, chaque rangée qui se développe plus avant dans l'intérieur des terres dépasse les précédentes en élévation, et forme comme un nouveau degré sur la pente de la grande dune primitive qui sert d'avant-garde à toute l'armée des sables. Cette dernière dune, véritable arête du système, s'agrandit peu à peu de tous les matériaux qui ont servi à la formation des dunes inférieures situées en deçà, du côté de la mer. Le grain de sable que l'air entraîne au sommet du premier monticule, et qui s'éboule ensuite dans un ravin, peut rester immobile pendant des siècles sous les masses surincombantes; mais, grâce au progrès constant de la dune, dont le vent balaye toutes les couches superficielles pour les laisser retomber plus loin en talus d'éboulement, ce grain de sable finit par reparaître : porté de nouveau sur une cime, il descend encore et ne cesse ainsi de voyager de dune en dune jusqu'à la dernière.

Les innombrables grains arénacés cheminant en vertu de lois rigoureuses, on peut en conséquence mesurer la force des vents par la hauteur, la masse et la rapidité du déplacement des monticules. Une observation attentive permet égale-

ment de comparer entre eux les divers courants atmosphériques qui poussent les sables, et d'indiquer d'une manière précise celui dont l'action est la plus énergique. Ainsi dans la péninsule d'Arvert ou de la Tremblade, située entre l'embouchure de la Gironde et celle de la Seudre, la chaîne des dunes se redresse graduellement dans la direction du nord, et c'est à l'extrémité septentrionale que s'élève le plus haut monticule. Ce phénomène s'explique par la fréquence et l'intensité du vent de sud-ouest qui souffle dans ces parages : en vertu du « parallélogramme des forces, » il porte les sables plus loin et plus haut que ne peuvent le faire les vents d'ouest et de nord-ouest.

Toute dune isolée affecte des contours nettement définis rappelant ceux du croissant. Il est facile de comprendre pourquoi la colline doit avancer de manière à projeter ainsi une pointe recourbée de chaque côté de sa masse principale. Les grains de sable auxquels le vent fait remonter dans toute sa hauteur la partie centrale de la dune ont à décrire un chemin plus considérable et à glisser plus longtemps à contre-pente que les molécules des deux extrémités latérales. Ils marchent en conséquence avec moins de vitesse; les pointes extrêmes, dépassant en rapidité le reste de la dune, se reploient en guise de cornes avancées et donnent à l'ensemble de la colline mouvante l'aspect d'un volcan dont le cratère se serait effondré. Ce qui contribue encore à faire prendre cette forme semi-circulaire aux monticules sableux, c'est que le vent dominant ne souffle pas toujours perpendiculairement à la masse de la dune; souvent sa direction est oblique, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Alors il fait avancer plus rapidement celle des ailes de la dune dont il frappe la crête à angle droit.

Dans le désert d'Atacama, dans la Pampa de Tamarugal, sur le plateau d'Arequipa, dans les Plaines-Jalonnées du Texas, dans le Sahara d'Algérie, dans les solitudes nubiennes et presque toutes les régions que parcourent des sables mobiles, les dunes en croissant offrent une telle régularité de forme que les voyageurs en ont toujours été frappés [1]. Les landes de

1. Pœppig, Meyen, Bollaert, Gillis, Cl. Marckham, Laurent, Georges Pouchet.

Gascogne offrent aussi des exemples remarquables de cette disposition semi-circulaire de la crête des dunes. Aux environs d'Arcachon et de la Teste, tous les monticules ont cette appa-

DUNES EN CROISSANT.

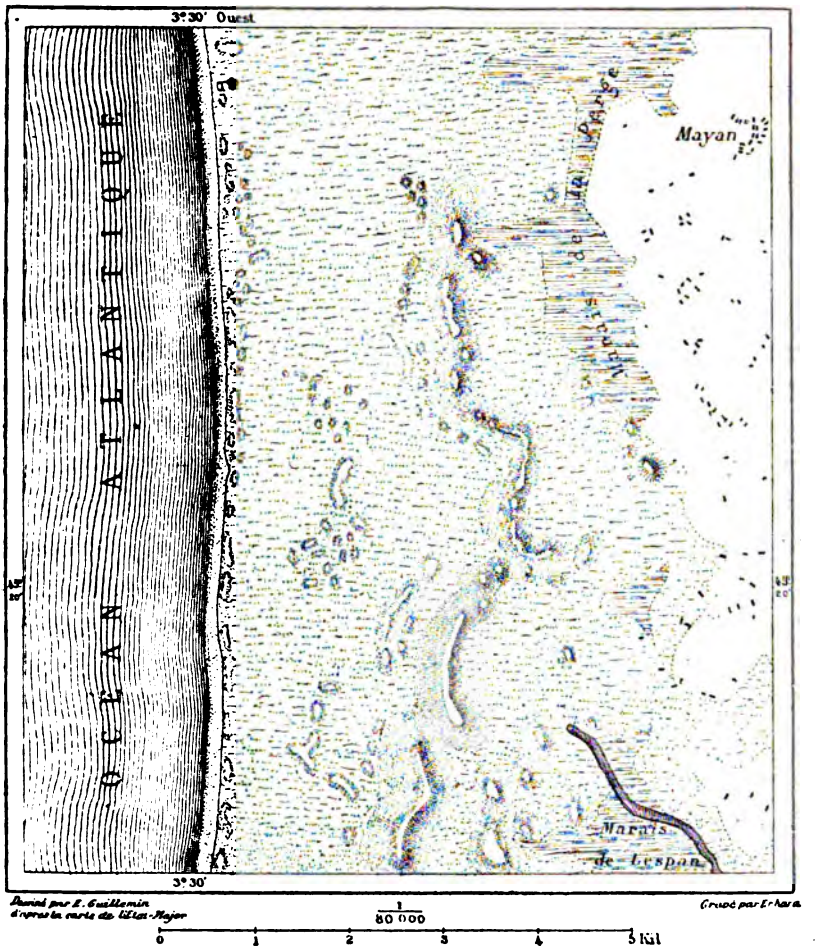


Fig. 90.

rence de volcans effondrés et se distinguent par la riche végétation de genêts et d'arbousiers qui remplit leurs cratères ou *crouhots*. Dans les parties du littoral des landes où la rondeur cratériforme des dunes s'est oblitérée, c'est évidemment parce que deux ou plusieurs monticules ont été réunis et pour ainsi dire fondus ensemble par le vent impétueux qui souffle de la

mer. Du reste, on peut se rendre compte de tous ces phénomènes en étudiant les petits renflements de sable ou dunes en miniature qui se forment par milliers sur les plages marines.

II.

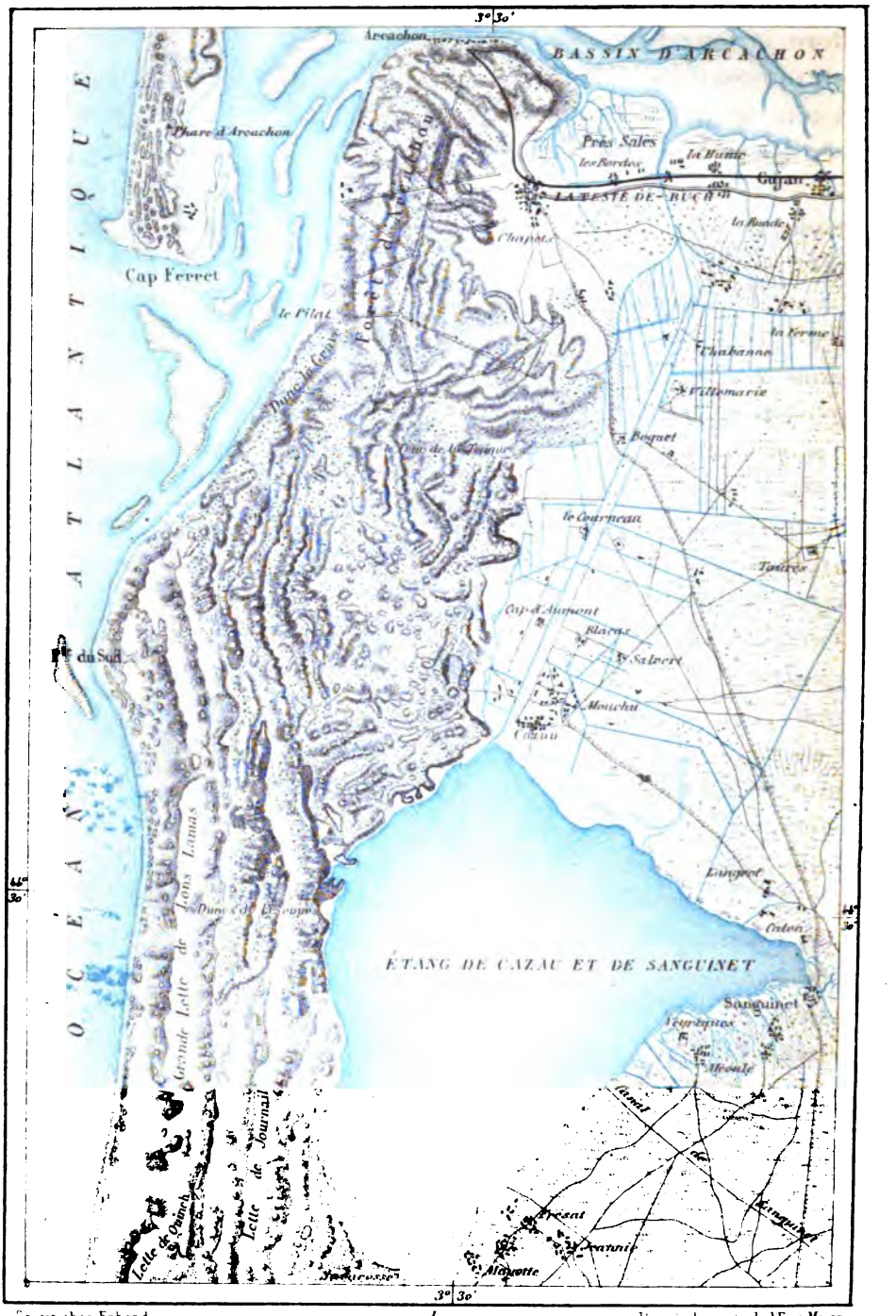
Hauteur des monticules. — Marche des dunes. — Déplacement des étangs, disparition des villages.

En Europe, les plus hauts monticules de sable se trouvent sur le littoral des Pays-Bas, sur les côtes atlantiques de la France, et en Écosse, sur les bords du Firth of Tay. Quant aux dunes de la Méditerranée, elles sont en général beaucoup moins hautes que celles du littoral de l'Océan. Les golfes du sud de l'Europe n'ayant qu'une marée à peine sensible, les sables du bord ne sont point incessamment déplacés comme ceux des plages de l'Océan, et par suite ils offrent moins de prise aux vents qui poussent devant eux les molécules arénacées les plus ténues. C'est au sud de l'Afrique, sur le pourtour des golfes des Syrtes, où le flux et le reflux ont la plus grande amplitude, et où les plages sablonneuses occupent d'énormes étendues, que les dunes méditerranéennes atteignent la hauteur la plus considérable. En France, celles que l'on voit de Port-Vendres aux Bouches-du-Rhône ne s'élèvent guère à plus de 6 ou 7 mètres de hauteur, parce que les flèches sur lesquelles se forment ces monticules n'ont pas une largeur suffisante et surtout parce que le vent dominant, le mistral, souffle du nord-ouest et porte le sable des étangs dans la Méditerranée.

Sur le littoral des landes de Gascogne, où les vagues de la mer apportent chaque année 6 millions de mètres cubes de sable [1], un très-grand nombre de dunes dépassent une éléva-

1. Laval, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1842.

PUBLIC LIBRARY



Gravé chez Erhard d'après la carte de l'Etat Major

tion de 75 mètres; il en existe même une, celle de Lascours, dont la longue croupe, parallèle au rivage de la mer, atteint en plusieurs endroits 80 mètres et dresse son dôme culminant à une altitude de 89 mètres. Il est vrai que cette hauteur semble marquer en France l'extrême limite ascensionnelle des sables, car les rangées de dunes situées à l'est de la dune de Lascours sont beaucoup moins élevées. On serait tenté d'admettre qu'après être arrivées à cette grande hauteur, les nappes inférieures du vent d'ouest, comprimées par les masses d'air plus élevées, n'ont pas la force d'impulsion nécessaire pour faire monter encore les molécules de sable et sont obligées de redescendre vers les plaines de l'intérieur en écrêtant les collines précédemment formées. En Afrique, sur les plages basses où l'Océan vient baigner le grand désert de Sahara, l'énorme quantité des matières arénacées que les vents d'est amènent du désert et que le vent d'ouest repousse vers l'intérieur permettent, dit-on, aux dunes du cap Bojador et du cap Vert d'atteindre une élévation de 120 à 180 mètres [1]; de l'autre côté du continent africain, les dunes du pays des Somali, entre l'équateur et le deuxième degré de latitude nord, s'élèveraient aussi à 160 mètres de hauteur [2]. Dans le nouveau monde, la plus grande dune est peut-être celle de Morro-Melancia, près du cap Saint-Roch; elle a 45 mètres et s'appuie d'un côté sur un monticule boisé.

Aux yeux d'un voyageur habitué à l'escalade des Alpes et des Pyrénées, ce sont là de bien humbles sommets; pourtant ces hauteurs de sable prennent l'aspect de véritables montagnes, et leurs chaînes, disposées parallèlement à la rive comme des rangées d'énormes vagues, semblent constituer tout un système orographique. Leurs talus hardis, leurs vives arêtes taillées comme au ciseau, la forme rhythmique de leurs cimes, l'harmonie générale de leurs contours, sans cesse modifiés au gré du vent, leur donnent une étonnante apparence de grandeur. La ligne de base parfaitement unie qu'offre le

1. Carl Ritter, *Afrika*.
2. Brenner, carte insérée dans *Mittheilungen von Petermann*, X, 1868.

rivage de la mer aide également à l'illusion par le contraste et contribue à l'aspect grandiose de ces blanches collines. Le vieux nom à la fois celtique et latin des dunes (*dun*), qui s'appliquait aux montagnes et aux coteaux escarpés, et que l'on retrouve encore dans les dénominations de plusieurs villes, Verdun, Loudun, Issoudun, Saverdun, prouve que nos ancêtres avaient été singulièrement frappés de la forme hardie des monticules sableux du littoral.

En gagnant incessamment sur les plaines de l'intérieur, la dune engloutit sans les détruire tous les objets solides, pierres, rochers, troncs d'arbres ou demeures humaines; parfois même elle recouvre des mares d'eau tout entières et les fait disparaître pendant quelque temps sous la base inclinée de ses talus. Lorsque le sable apporté par le vent tombe avec régularité sur la nappe d'une eau dormante et couverte d'écume visqueuse, il forme souvent une couche ténue voilant complétement aux regards l'eau qui le porte. Cette couche peut devenir assez solide pour rester en équilibre même lorsque le niveau de la mare baisse au-dessous d'elle, et bientôt les molécules de sables séchées par les rayons solaires ne trahissent plus l'existence du piége caché. Les pâtres, les animaux qui mettent le pied sur la surface de la *blouse* s'engouffrent tout à coup plus ou moins profondément, et les eaux de la mare refluent autour d'eux. Le plus souvent ils en sont quittes pour l'émotion. Peu à peu le sable croulant se tasse; ils laissent le fond se consolider, puis, levant tranquillement une jambe, ils attendent qu'une espèce de marche se soit formée, et montent ainsi de degré en degré comme par un escalier.

Si les petites mares sont parfois englouties en apparence, les masses d'eau plus considérables situées à la base des dunes sont continuellement repoussées vers l'intérieur. Les rivières, arrêtées dans leur cours et changées en marais, sont également forcées au recul et mêlent leurs eaux à celles des étangs. Cette formation de lacs et de marécages, parallèle à celle des sables, est l'un des traits les plus remarquables du littoral des landes françaises. Sur un espace de 200 kilomètres, se pro-

longe une rangée d'étangs différents de forme et de grandeur, mais tous situés à une distance à peu près égale de la mer. Une vaste baie, le bassin d'Arcachon, a pu maintenir une large communication avec l'Océan, grâce peut-être à la rivière qu'elle reçoit de l'intérieur; mais toutes les autres nappes d'eau, au nord les étangs d'Hourtin et de Lacanau, au sud, ceux de Cazau, de Parentis, d'Aureilhan, de Saint-Julien, de Léon, de Soustons, ne communiquent avec la mer que par des *courants* au lit tortueux et rapide, et se trouvent maintenant à un niveau considérable au-dessus de la surface marine.

L'étang de Cazau, le plus élevé de tous et celui qui a été repoussé graduellement dans l'intérieur des terres par les plus fortes dunes, étale sa nappe à une altitude variant de 19 à 20 mètres, suivant les saisons. Il n'a pas moins de 6,000 hectares de superficie moyenne. Le spectateur qui le contemple du haut d'un monticule croirait y voir une vaste baie marine, car une grande partie des rivages opposés échappent aux regards, et les arbres isolés ou disposés par groupes qui marquent au loin la berge lointaine ressemblent à une flotte de navires à l'ancre dans une rade; les blancs éboulis de sable de forme triangulaire qu'on aperçoit à la base des dunes verdoyantes, et qui paraissent autant de voiles d'embarcations rasant la côte, accroissent encore l'illusion. Du reste, il est probable que l'étang de Cazau était autrefois un golfe de l'Océan, car le fond de cette petite mer intérieure se trouve encore à 10 mètres au-dessous du niveau marin. Les pêcheurs, qui sont les juges les plus autorisés en pareille matière, attestent uniformément que, dans les parties les plus basses de l'étang, la sonde touche le sable à une trentaine de mètres au-dessous de la surface; ils affirment aussi que les creux profonds étaient jadis en communication avec la mer; ils indiquent même l'anse de Maubrucq comme ayant été l'ancien port et tracent au milieu des dunes la direction que suivait le détroit de l'entrée. De même les pêcheurs de l'étang d'Hourtin montrent encore l'emplacement du vieux port d'Anchise.

Il est facile de s'expliquer la transformation graduelle de l'ancien golfe de Cazau et des autres baies marines qui décou-

paient le rivage aujourd'hui si uniforme des landes. D'abord

ÉTANGS DE CAZAU, DE PARENTIS ET D'AUREILHAN.

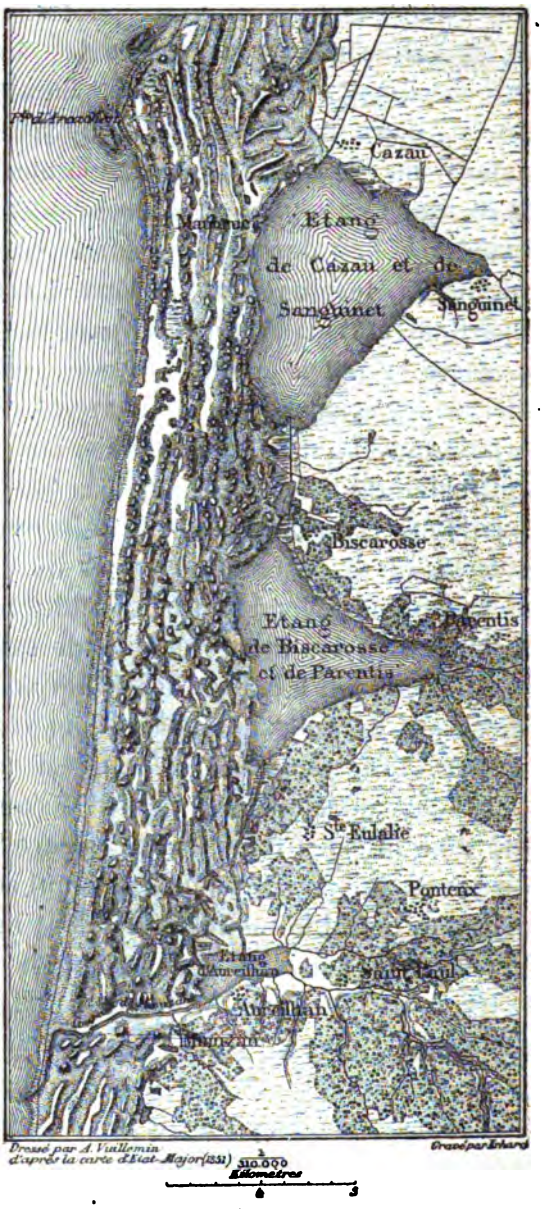


Fig. 91.

séparées de l'Océan par un mince cordon de sable, comme il s'en forme souvent sur les plages basses, ces baies changées

en étangs ont été peu à peu repoussées vers l'intérieur des terres par les sillons parallèles des dunes. Sous l'énorme pres-

Fig. 92. — Formation des étangs.

sion des sables, elles ont gravi, pour ainsi dire, la pente du continent. En même temps les pluies et les ruisseaux, arrêtés dans leur cours, apportaient incessamment leur tribut d'eau douce aux nouveaux lacs, tandis que l'eau salée s'enfuyait à

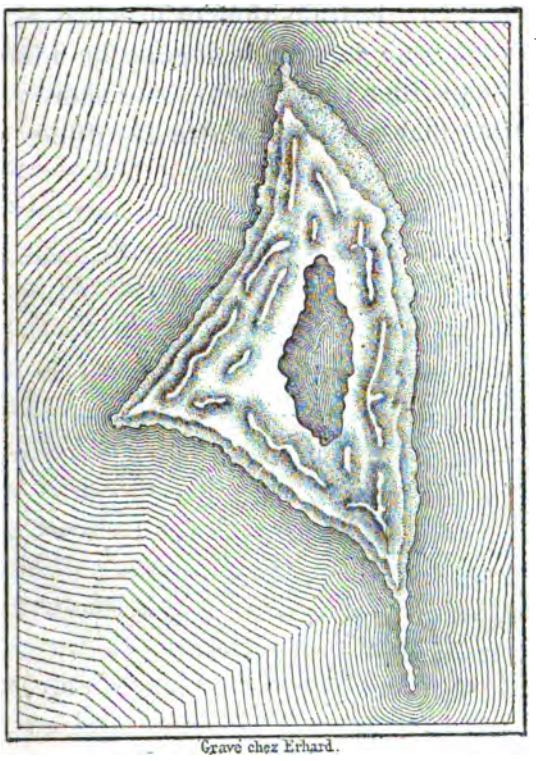


Fig. 93. — Ile Thelenji, dans la mer Caspienne.

mesure par les déversoirs naturels ménagés entre les monticules. Ainsi les grains de sable que le vent pousse devant lui ont suffi, pendant le cours des siècles, à changer des golfes d'eau salée en étangs d'eau douce et à les porter dans l'inté-

rieur du continent à une hauteur considérable au-dessus de l'Atlantique.

Les mêmes phénomènes se passent aussi dans les îles sablonneuses qui se trouvent au milieu de la mer. La plupart de ces îles ont une forme d'une régularité parfaite, due à la fois aux courants qui les baignent et aux vents qui en alignent les dunes. Au centre de l'espace triangulaire ou en croissant qu'elles entourent de leurs monticules mouvants, elles enferment un ou plusieurs étangs, qui jadis faisaient partie de la mer et qui se transforment par degrés en mares d'eau saumâtre, puis d'eau douce (fig. 93). Dans l'île de Sable, située non loin de l'embouchure du Saint-Laurent, on peut même constater ce phénomène de transition et prendre ainsi la nature sur le fait. Tandis que la grande lagune de l'intérieur, trop étendue pour se purifier rapidement, est encore remplie d'eau salée, les petites mares situées entre les dunes sont déjà de l'eau douce.

ILE DE SABLE.

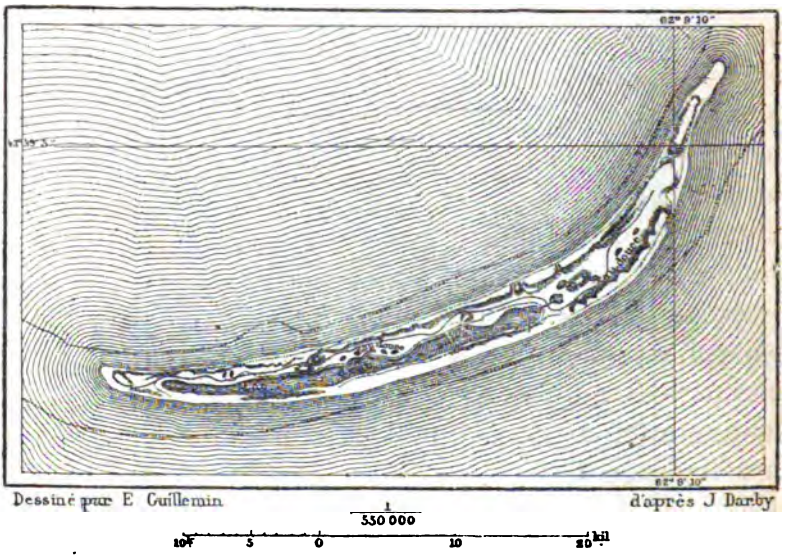


Fig. 94.

Nombreux sont les désastres occasionnés par l'envahissement des dunes ou des étangs pendant l'ère historique. Les villages situés à la base orientale des dunes de la Gascogne,

sur le bord des étangs, devaient se déplacer de temps en temps vers l'est, sous peine d'être engloutis par les sables ou par les eaux. A l'approche du danger, les habitants menacés essayaient quelquefois une vaine résistance. Dès qu'aux vents réguliers de l'ouest succédait pour quelque temps un vent d'est, pâtres et cultivateurs, armés de pelles et de pioches, se rendaient en toute hâte au sommet des dunes, et, pleins d'une ardeur impuissante, ils démolissaient la crête des sables pour la livrer au souffle de l'air. Mais bientôt les vents réguliers reportaient le sable vers l'intérieur; les dunes recommençaient à marcher et mettaient l'armée des paysans en déroute. Sous peine d'être engloutis, ils devaient détruire leurs cabanes pour en emporter les matériaux et se bâtir de nouvelles demeures à une certaine distance dans l'intérieur de la lande. Les années, les siècles s'écoulaient; mais les dunes et les étangs marchaient toujours, et de nouveau les habitants étaient condamnés à transférer leurs villages au milieu des bruyères. C'étaient là des malheurs prévus, et la chronique garde le silence sur ces émigrations successives; elle se borne à mentionner les noms de quelques églises qu'on a dû abandonner aux sables pour les reconstruire au loin sur le plateau des landes. Ainsi nous savons que l'église de Lége a été rebâtie en 1480 et en 1650, la première fois à 4 kilomètres, la seconde à 3 kilomètres plus avant dans l'intérieur des terres; mais les étapes des autres localités de la même zone ne sont pas connues d'une manière précise. Quant aux bourgs aujourd'hui disparus de Lislan, de Lélos et de plusieurs autres encore, on ignore jusqu'à leur ancien emplacement. Après avoir perdu son port et ses hameaux, le bourg de Mimizan, jadis très-important, allait être englouti tout entier, lorsque, au moment suprême, on réussit enfin à fixer les dunes par des palissades et des plantations. Le demi-cercle des collines envahissantes, pareil à la gueule ébréchée d'un cratère, semble être encore sur le point de dévorer les maisons.

Les dunes ont été souvent comparées à des sabliers gigantesques mesurant le temps par la marche progressive de leurs talus de sable. La comparaison est juste, car les vents

d'ouest qui opèrent tous ces changements sur le littoral des landes obéissent à présent aux mêmes lois qu'il y a des milliers d'années, et très-probablement leur force n'a pas changé pendant cet intervalle de temps. Les dunes, les étangs et même les villages riverains peuvent donc être considérés comme de véritables chronomètres géologiques; mais par malheur les indications qu'ils fournissent n'ont pas encore été déchiffrées d'une manière certaine, et maintenant que les dunes sont fixées, il est trop tard pour entreprendre cette étude. L'illustre Brémontier, dont le livre, imprimé en l'an v de la République [1], fait encore autorité sur la question des sables mouvants, a recueilli pendant huit années une série d'observations qui lui ont donné une moyenne de 20 à 25 mètres pour le progrès annuel des dunes de la Teste. Ce résultat s'accorde d'une manière remarquable avec les indications fournies par les empiétements des dunes de Lége pendant les quatre cents dernières années. En admettant comme normale la moyenne calculée par Brémontier, on arriverait à cette conclusion que, dans un laps de temps de vingt siècles, les dunes auraient pu envahir toute la zone des landes et recouvrir la ville de Bordeaux : il eût même suffi de mille ans pour transformer en marécages les belles campagnes du Bordelais, car les étangs, repoussés constamment par les dunes envahissantes, se seraient épanchés du côté de l'est, aussitôt après avoir dépassé la ligne culminante du plateau des landes. Des recherches entreprises en d'autres lieux auraient, sans doute, confirmé les observations faites par Brémontier; cependant, en l'absence de ces recherches, on ne peut accepter comme s'appliquant à toute l'armée des sables, de Bayonne à la pointe de Grave, des mesures faites au pied d'un groupe de dunes isolées : pour se prononcer définitivement, il faut attendre les observations qu'on ne manquera point de faire un jour sur la marche des dunes dans toutes les parties du globe où ces monticules ne sont pas encore arrêtés.

1. *Mémoire sur les Dunes.*

III.

Obstacles opposés par la nature à la marche des dunes. — Fixation des sables par les semis.

Cependant l'œuvre de la nature est double, et, si d'une part, elle précipite la marche des sables, d'autre part elle tâche de les arrêter : elle-même indique les moyens de prévenir ou prévient spontanément les désastres dont elle est cause. En certains endroits, et spécialement sur une partie de la côte des landes, elle exerce une action physique et chimique en se servant de l'oxyde de fer contenu dans l'eau des sources pour consolider les sables et les transformer graduellement en de véritables roches. Ailleurs, des ciments organiques, composés de coquillages brisés, de restes d'infusoires siliceux et calcaires, agglutinent les molécules arénacées et leur donnent la stabilité nécessaire pour résister au souffle du vent. Mais ces moyens de consolidation des sables sont exceptionnels. C'est principalement la végétation qui fixe les collines mouvantes des bords de la mer. Sur presque tous les rivages, les débris sableux et calcaires du sol renferment assez de principes fertilisants pour nourrir un certain nombre de plantes vivaces qui ne craignent pas l'air salé des flots et qui projettent leurs racines à une grande profondeur afin d'aspirer l'humidité nécessaire. Parmi ces végétaux hardis, le plus commun et le plus utile à la fois est le gourbet (*arundo arenaria*), dont les tiges, minces et flexibles, ne peuvent guère arrêter le vent, mais dont les fortes racines, parfois longues de 12 ou 15 mètres, se développent d'autant mieux que le sable a moins de consistance. Diverses espèces de convolvulacées rampent sur le sol et, fixant de distance en distance leurs vigoureux cordages, enveloppent parfois une dune entière dans leur réseau de

feuilles et de fleurs. D'autres plantes se dressent fièrement; mais si leur tige vient à être engloutie par les sables, elle se transforme bientôt en racine et donne naissance à une nouvelle pousse, qui peut être enterrée à son tour sans que la plante soit exposée à périr. Ainsi telle graine germant à la base de la dune produit souvent un végétal qui, de résurrection en résurrection, finit par s'épanouir au sommet du monticule et relie par un câble de racines les couches arénacées que les lianes des convolvulus fixent à la surface. Nombre de plantes dont les frêles tiges sont à demi enfouies dans le sable sont peut-être contemporaines de la dune elle-même [1]; peut-être existaient-elles avant que l'homme eût une histoire.

Dans cette lutte engagée entre la force des vents et la puissance de la végétation, l'issue définitive dépend à la fois des conditions du climat, de la nature du sol, de la forme du rivage et de diverses circonstances éventuelles, parmi lesquelles il faut ranger, en première ligne, les dégâts causés par l'homme et les animaux. Dans l'Amérique du Sud, sur les rivages de ces contrées tropicales où le développement des plantes est favorisé, suivant les saisons, par une chaleur extrême et par des torrents de pluie, et où les sables contiennent une forte proportion de débris animaux et végétaux, la plupart des dunes sont déjà fixées à quelques mètres de la mer par des mimosas, des cactus et des arbres épineux; cependant, sur les plages orientales de toutes les rivières du Brésil équatorial qui vont se jeter au large des bouches de l'Amazone, on voit, même assez loin de la mer, des rangées de dunes de 10 à 15 mètres de hauteur qui cheminent incessamment, poussées par le souffle des vents alizés [2]. Cette mobilité des sables tient sans doute à ce fait mis hors de doute par Coutinho et Agassiz que les plages se dépriment dans cette partie du Brésil, et par suite changent incessamment de forme : les dunes n'ont pas encore eu le temps de se fixer.

1. Aug. Pyr. de Candolle; Élie de Beaumont.
2. *Revue maritime et coloniale*, 1866.

En Europe, la flore des sables est moins riche que dans les contrées équatoriales. Sur les côtes du Jutland, elle se compose seulement de deux cent trente-quatre espèces de plantes, très-humbles pour la plupart[1]; aussi les dunes « blanches » de la péninsule danoise, de même que celles de la Gascogne et de la Hollande, n'ont-elles point assez de cohésion pour résister aux furieux vents d'ouest qui les assaillent. Il est probable toutefois que, même dans les pays de la zone tempérée, la modeste végétation herbacée des sables du littoral pourrait, après un certain laps de siècles, acquérir la force nécessaire pour fixer les dunes et préparer, par la lente accumulation de ses débris, une couche végétale où croîtraient spontanément les grands arbres; mais il faut pour cela que les troupeaux ne viennent pas brouter les herbes naissantes, arracher les racines et rendre au sable sa mobilité en le piétinant.

S'il n'en était pas ainsi, il serait difficile de comprendre comment toutes les dunes de l'Europe étaient anciennement couvertes de forêts. D'après le témoignage unanime des anciens géographes, les bois s'étendaient jusqu'au bord de la mer dans ces plaines qui sont aujourd'hui les Pays-Bas, et les Bataves, les Angles, les Frisons n'avaient dans leurs idiomes aucun mot spécial qui désignât un monticule de sable mobile[2]. Ni le grand géographe Strabon, ni Pline l'encyclopédiste, ni aucun autre écrivain de l'antiquité ne mentionne l'existence de collines poussées par le vent, bien que ce phénomène eût été certainement de nature à frapper les voyageurs romains. Sous un grand nombre de dunes de la Gascogne on découvre des troncs de chênes, de pins et d'autres essences, engloutis dans le sable au-dessus de l'ancien niveau des landes. Bien plus, quelques dunes portent encore des bois magnifiques, qui comptent au moins plusieurs siècles d'existence et qui n'ont probablement pas été plantés par l'homme. Non loin d'Arcachon, on peut s'égarer dans une forêt où se dressent des pins gigantesques, sans rivaux en France, et des chênes

1. Andresen, *Om Klitformationen;* — Marsh.
2. Staring, *Voormals en Thans;* — Marsh.

d'une circonférence de 12 mètres. Des titres de 1332 parlent aussi de forêts qui recouvraient les dunes de Médoc, et où les seigneurs de Lesparre allaient en joyeuse compagnie chasser le cerf, le sanglier, le chevreuil. Enfin Montaigne[1], écrivant au milieu du XVIe siècle, dit que les envahissements des sables avaient lieu « depuis quelque temps. » D'ailleurs, pourquoi les Landais donneraient-ils, comme les Espagnols, le nom de *monts* ou *montagnes* à leurs forêts, même à celles de la plaine, sinon parce que leurs collines de sable étaient précisément les régions couvertes des arbres les plus touffus?

Malheureusement toutes ces belles forêts qui protégeaient autrefois les terres basses du littoral maritime contre l'invasion des sables furent successivement détruites pendant les mauvais jours du moyen âge, soit par des envahisseurs barbares, soit par des seigneurs imprévoyants, soit par les paysans eux-mêmes. Encore au dernier siècle, le roi de Prusse, Frédéric-Guillaume Ier, ayant grand besoin d'argent, fit abattre la forêt de pins qui s'étendait sans interruption sur les dunes de la Frische Nehrung, de Dantzig à Pillau. L'opération lui rapporta la somme de 200,000 écus; mais les sables mouvants envahirent la grande baie intérieure, détruisirent les pêcheries, obstruèrent le chenal de navigation, ensevelirent les forteresses de défense et modifièrent de la manière la plus fâcheuse l'économie hydrographique de tous ces parages[2]. En Hollande, en Bretagne, le déboisement du littoral a produit des résultats plus funestes encore. Sur les bords du lac Michigan, au cap Cod (Massachusetts), les défrichements de la plage ont aussi amené la formation de collines mouvantes[3]. Les riverains n'ont à se plaindre que d'eux-mêmes : les dunes sont leur ouvrage. Une seule imprudence peut causer de grands malheurs : c'est ainsi que, d'après Staring, une des plus hautes dunes de la Frise doit son origine à la destruction d'un seul chêne[4].

1. *Essais*, livre IV.
2. Foss, *Zeitschrift für die Erdkunde*, 1861.
3. Marsh, *Man and Nature*.
4. *De Bodem van Nederland*, t. I, p. 425.

C'est à l'homme d'arrêter maintenant par son travail ces monticules de sable qu'il a pour ainsi dire créés par son imprévoyance. Heureusement ce n'est pas là une œuvre impossible. Déjà le berger des landes françaises, quand il voulait protéger sa cabane érigée au fond de quelque ravin des dunes, avait soin de couper dans les lèdes ou les marécages environnants des graminées ou des roseaux qu'il étendait sur le sol de manière à le recouvrir complétement et à ne laisser aucune prise au vent de la mer. Cela suffit : le sable reste immobile et la dune est désormais fixée, aussi longtemps du moins que le pas d'un cheval, la dent d'une brebis ou d'un animal sauvage, une averse de pluie ou telle autre cause, n'ont pas transpercé la couche protectrice et rendu aux sables leur mobilité : il faut alors tapisser le sol d'une nouvelle litière de plantes.

Ce moyen de protection, qui d'ailleurs est praticable seulement sur de faibles étendues, est évidemment tout provisoire : pour obtenir un résultat définitif, il faut recourir à la fixation directe des dunes par des semis d'arbres ou d'autres plantes offrant aux vents une barrière infranchissable. Déjà dans le moyen âge les Portugais avaient su protéger ainsi les campagnes de Leiria menacées par les sables, et dès la fin du XIIIe siècle ou le commencement du XIVe siècle, le roi Dinis, dit « le Laboureur, » avait arrêté par des plantations de pins les dunes mobiles qui s'avançaient à la conquête de la vallée du Liz. Les forêts plantées de son temps se voient encore; mais la méthode employée sur les plages lointaines du Portugal était restée ignorée dans le reste de l'Europe. Au nord des Pyrénées, les Hollandais, ces grands maîtres pour tous les travaux de la mer et des rivages, reconnurent les premiers l'absolue nécessité d'arrêter les dunes. A la fois défendus et menacés par ces masses de sable mouvant qui ne cessaient d'empiéter sur leur territoire, tout en le protégeant contre les assauts de la mer, ils comprirent que le salut même de la patrie dépend de ce rempart de collines, et depuis un siècle ils l'ont définitivement consolidé par des plantations de roseaux, d'érables et de sapins.

Les premières tentatives faites pour la fixation des dunes de Gascogne datent du commencement du XVIIIe siècle. M. de Ruhat, acquéreur de l'ancien captalat de Buch, ensemença de pins quelques collines de la Teste; mais, quoique les semis eussent réussi parfaitement, l'œuvre ne fut pas continuée, et partout ailleurs les inertes Landais laissèrent les dunes marcher à l'assaut de leurs villages. Plus tard, les frères Desbiey et l'ingénieur Villers proposèrent à diverses reprises la fixation de toute la zone des sables : leur voix ne fut point entendue. C'est au célèbre Brémontier qu'échut l'honneur de faire adopter et de mettre en pratique un plan d'ensemble pour la culture des dunes. S'inspirant des écrits et de l'exemple de ses devanciers, ne dédaignant pas d'interroger les pâtres qui connaissaient par tradition les moyens d'arrêter les sables, Brémontier se mit pour la première fois à l'œuvre en 1787. Interrompus en 1789, puis repris en 1791, les travaux furent complétement abandonnés en 1793, par suite de l'opposition qu'avaient suscitée plusieurs habitants de la Teste; mais déjà on pouvait constater d'importants résultats. Plus de 250 hectares de sables mouvants avaient été fixés dans les environs d'Arcachon; des pins, des chênes, des plants de vigne étaient en parfaite croissance, et l'ensemencement d'un hectare n'avait pas coûté plus de 200 francs. La possibilité d'arrêter la marche des dunes à peu de frais était absolument démontrée.

Au commencement du siècle, l'œuvre interrompue fut reprise, et depuis quelques années tous les travaux sont terminés. Les dunes de Gascogne, désormais fixées, enrichissent les contrées qu'elles menaçaient autrefois d'engloutir, et, par suite de la valeur croissante des pins et des autres essences cultivées, c'est par centaines de mille francs qu'il faut compter l'accroissement annuel de la fortune publique sur le littoral. Actuellement la valeur estimée des forêts des dunes landaises est de 25 millions, soit de 600 francs l'hectare. Ainsi le moyen de salut appliqué par Brémontier est devenu pour les habitants une cause de prospérité. En même temps plusieurs résultats heureux, auxquels on ne pouvait s'attendre

d'avance, ont été obtenus. Le sable, garanti des rayons du soleil par l'ombrage des pins, produit des herbes qu'on utilise pour la litière et l'alimentation des bestiaux. Les lèdes, qui pendant six mois de l'année étaient transformées par les eaux de pluie en d'infranchissables fondrières, ont été assainies sans l'intervention de l'homme, grâce aux milliards de radicules pompant incessamment l'humidité des sables. La surface des vastes étangs situés à la base orientale des dunes s'est abaissée pour fournir aux arbres de la forêt l'eau nécessaire à leur croissance. En outre, la fixation des dunes a fait disparaître les « blouses » dans lesquelles s'engouffraient les hommes et les animaux : le sable ne voyage plus, et les mares ont cessé d'exister. La science a réparé les désordres causés naguère par l'imprévoyance humaine.

DEUXIÈME PARTIE

L'ATMOSPHÈRE

LES MÉTÉORES

CHAPITRE I

L'AIR ET LES VENTS.

I.

L'air, agent de la circulation vitale sur la planète. — Phénomènes de réflexion et de réfraction. — Mirage.

Tout sur notre globe serait la mort et le silence éternels sans l'atmosphère, enveloppe extérieure de la planète. Cette masse gazeuse, transparente, invisible parfois et qui semble à peine faire partie de la terre, en est cependant le principal élément; car il en est le plus mobile, et c'est en lui surtout que circule la vie. Nous reposons sur le sol; mais c'est de l'air et dans l'air que nous vivons, hommes, animaux et plantes. Sans voler comme les oiseaux, tous les êtres qui marchent, rampent, ou fixent leurs racines dans la terre végétale n'en sont pas moins des fils de l'atmosphère.

Considérée comme un astre du ciel, la planète se compose d'un noyau entouré de deux couches fluides. Le noyau est ce qui porte plus spécialement le nom de terre, ce sont les assises rocheuses enfermant des laves, des métaux fondus et toute la masse de matières inconnues, solides ou non, qui occupe le

centre. La nappe des mers et le réseau des fleuves recouvre cette ossature du globe, puis au-dessus de l'enveloppe aqueuse s'étend une deuxième couche sphérique plus fluide encore, vaste appareil dont les courants et les contre-courants circulent incessamment du pôle à l'équateur et de l'équateur au pôle avec la régularité des poumons de l'homme, tour à tour emplis et désenflés. L'atmosphère est vraiment le souffle de la planète; semblable à son satellite, que la plupart des astronomes nous disent être dépourvu d'enveloppe gazeuse, la terre ne serait plus qu'un astre mort roulant dans l'espace, s'il perdait tout à coup les nappes d'air qui l'entourent et cessait de respirer l'haleine régulière des vents.

L'air subtil et transparent est composé des mêmes gaz qui se trouvent en plus grande abondance dans la croûte opaque et solide de notre globe. Les quatre éléments principaux de tout organisme végétal ou animal : l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et le carbone, se retrouvent également dans l'atmosphère: les deux premiers, comme éléments constituants de l'air, le troisième, mélangé avec l'oxygène sous forme de vapeur d'eau, et le quatrième enfin mêlé au souffle expiré par les animaux et à maint autre gaz provenant de la décomposition des plantes. Entre les produits de la nature et les flots mobiles de l'espace aérien, il s'opère incessamment un échange en vertu duquel les gaz de l'air se fixent dans l'animal, la plante ou la roche, tandis que les éléments primitifs, un instant fixés dans un organisme ou dans les couches terrestres, se dégagent et recomposent l'atmosphère.

Animaux et plantes, tout s'éteindrait bientôt, faute d'aliment nécessaire, si le mélange des vapeurs et des gaz ne s'opérait par le mouvement incessant des masses aériennes. Les hommes et les bêtes se suicideraient peu à peu en absorbant de nouveau l'acide carbonique déjà chassé de leurs poumons; les plantes, plongées dans l'atmosphère trop oxygénée qui s'échappe de leurs feuilles, finiraient aussi par mourir. Heureusement les fleuves de l'air, qui se tordent en puissantes spirales sur la surface de la terre, mêlent uniformément tous les gaz qu'ils entraînent, et distribuent ainsi la vie sur tous les points de

leur parcours. Aux régions tempérées qui sont principalement le domaine de l'homme, ils apportent l'oxygène qu'ont exhalé les immenses forêts de la zone tropicale; à ces mêmes forêts ils donnent le carbone, qui est la vie des arbres et qui serait la mort de l'homme. Bien plus, ils animent le globe lui-même, en charriant d'immenses quantités de vapeurs aux montagnes où s'élabore le filet des sources, puis en faisant circuler sur les mers un air sec et toujours avide de l'eau qui s'évapore à la surface. Comparable au cœur dans un organisme vivant, la zone productrice de courants atmosphériques occupe la région centrale de l'océan des airs et se déplace alternativement vers le nord et le sud; c'est ainsi que se produit dans toute la masse aérienne un mouvement de systole et de diastole, imprimant la vitesse initiale aux courants artériels qui vont porter la fécondité sur tous les points de la planète.

Chaque molécule de gaz passe donc éternellement de vie en vie et s'en échappe de mort en mort; tour à tour vent, flot, terre, animal ou fleur, elle est, malgré sa petitesse, le symbole du mouvement infini. L'air est une source inépuisable, où tout ce qui vit prend son haleine, un réservoir immense, où tout ce qui meurt verse son dernier souffle. Sous l'action de l'atmosphère, tous les organismes épars naissent, puis dépérissent. La vie, la mort sont également dans l'air que nous respirons et se succèdent perpétuellement l'une à l'autre par l'échange des molécules gazeuses. Les mêmes éléments qui s'échappent des feuilles de l'arbre, le vent les porte aux poumons de l'enfant qui vient de naître; le dernier soupir d'un mourant va tisser la brillante corolle de la fleur, en composer les pénétrants parfums. La brise qui caresse doucement les tiges des herbes va plus loin se transformer en tempête, déracine les troncs d'arbres et fait sombrer les navires avec leurs équipages. C'est ainsi que, par un enchaînement infini de morts partielles, l'atmosphère alimente la vie universelle du globe.

Comparable à l'Océan par le circuit incessant de ses ondes, la grande mer atmosphérique n'est point enfermée, comme les eaux, dans un bassin limité de toutes parts. Ses

molécules se glissent partout de pore en pore; elles entrent dans le sein de la terre, où elles activent la fusion des laves, dans la profondeur des mers, où elles se fixent dans les corps d'innombrables animalcules. L'atmosphère voyage et se déplace sans relâche, entraînant sur ses ondes tous les objets légers qui ne sont pas fixés sur le sol. Elle s'empare des cendres du cratère en éruption et les laisse retomber sur un autre point du globe à quelques centaines ou quelques milliers de kilomètres; elle enlève dans ses tourbillons des milliards d'animalcules ou des nuages de pollen qui traversent l'Océan et retombent en poussière impalpable. Elle porte la mer elle-même, sous forme de nuées et de météores, et la distribue sur tous les points des continents; elle se charge de torrents d'électricité et les dégage par les rayons de l'aurore boréale ou par les éclairs de la foudre. Elle est le grand véhicule au moyen duquel s'accomplit le circuit universel des éléments qui composent la croûte solide, la masse des eaux et les corps organisés.

« Le monde est petit! » disait Colomb; mais c'est principalement grâce à l'air, qui supprime les distances, que la planète est rapetissée. Quel que soit le nombre de mètres ou de kilomètres parcourus par une graine, le point de la terre où elle va tomber n'est point éloigné de la plante mère. Les côtes septentrionales de la Méditerranée sont rapprochées des grands déserts d'Afrique dont le *sirocco* leur apporte la poussière; de même on peut dire que les rivages du Brésil, vers lesquels souffle le vent alizé, sont contigus aux lointains archipels des Açores et des Canaries. Toutes les parties du monde que réunissent des courants atmosphériques deviennent par cela même limitrophes, sinon pour les êtres qui rampent sur le sol, du moins pour ceux qui se laissent entraîner par les mouvements de l'air. Par le mélange incessant des masses aériennes, toutes les régions du noyau solide de la terre se rapprochent, les contrastes se fondent, l'harmonie s'établit entre les productions et les climats non moins que dans l'aspect général de la nature.

Les vents sont aussi de puissants agents géologiques.

Ainsi les courants aériens de certaines latitudes transportent des nuages de poussière qui peuvent à la longue stériliser ou fertiliser de vastes contrées, soit en recouvrant le sol végétal d'une couche inféconde, soit en opérant un heureux mélange des terres. Sur les bords du Nil, le sable du désert que le vent mêle à l'épais limon du fleuve contribue à développer la merveilleuse force productive du terrain, tandis que dans les plaines voisines, dépourvues d'humidité, il enfouit les plantes et rend le sol impropre à toute végétation. Ailleurs, et principalement sur les côtes basses de la mer, le vent fait marcher par-dessus les campagnes des collines sableuses qui barrent le cours des ruisseaux et repoussent graduellement l'eau des estuaires sur la pente des continents [1].

En certains endroits le courant aérien va même jusqu'à changer temporairement le niveau de la mer; de son souffle il arrête les ondes ou les lance à l'attaque des rivages, et tour à tour dessèche le fond ou cause des inondations désastreuses. Parfois le vent des régions polaires qui descend avec violence de l'Amérique du Nord au golfe du Mexique retient jusqu'à trois ou même quatre marées successives, puis celles-ci, revenant toutes ensemble en une masse écumeuse, balayent des îles entières devant les côtes basses de la Louisiane et du Texas. De même, lorsque le *pampero* ou vent du sud-ouest souffle sur le grand estuaire de la Plata, les eaux baissent quelquefois de 4 et même de 6 mètres en moins d'une demi-journée, et des navires qui flottaient sur la rade restent échoués dans les vases [2].

Ce n'est pas tout. Le vent peut aussi modifier la configuration des rivages, puisque les vagues de houle, qui contribuent pour une si forte part à sculpter les côtes, reçoivent de lui leur force d'impulsion. C'est ainsi que le grand bras du Rhône doit peut-être sa direction dans le sens du sud-est au mistral qui descend des Cévennes [3]. Quant au delta mississi-

1. Voir ci-dessus, page 251.
2. Fitz-Roy, *Adventure and Beagle,* deuxième vol. Appendice, p. 89.
3. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières.*

pien, ses contours extérieurs sont probablement modelés par la mousson du sud-est, qui domine dans cette contrée; la passe dite du sud, ouverte exactement dans la direction du vent régnant, est obstruée presque en entier par la digue de boues que la houle a dressée en travers de son courant. Les deux bras du Mississipi qui portent la plus grande quantité d'eau sont dirigés, l'un vers le sud-ouest, l'autre vers le nord-est, c'est-à-dire que chacun d'eux forme un angle droit avec la mousson du sud-est. C'est peut-être le courant aérien qui, de son souffle puissant, a forcé les longues péninsules du Mississipi à s'étaler ainsi sur les eaux comme les branches d'un grand arbre échoué [1].

Toutefois l'œuvre géologique des vents s'accomplit surtout d'une manière indirecte, soit par l'évaporation de l'humidité des continents, soit par l'apport de masses d'eau considérables. Pendant le cours des âges, les contours des terres et des mers n'ont cessé de changer, et par suite de ces modifications graduelles, les vents eux-mêmes ont dû subir des variations analogues. Les uns se sont saturés de vapeur d'eau, et les nuages qu'ils portent se sont déposés en fleuves et en lacs au milieu des terres. D'autres courants atmosphériques ont perdu en grande partie leur humidité, puis, en passant sur les mers intérieures, ils les ont absorbées, pompées pour ainsi dire, et derrière eux des campagnes riantes se sont transformées en déserts. Sans aucun doute ce sont les vents qui dessèchent aujourd'hui les terres du Cap, de Natal et de Transvaal; ce sont eux qui ont été les grands agents dans l'œuvre de desséchement de l'Asie centrale; ils ont bu les vastes étendues d'eau qui s'étendaient autrefois du Pont-Euxin à la mer Caspienne et du lac d'Aral au golfe d'Obi, et laissé des steppes de sel à la place de cette ancienne méditerranée [2].

C'est aussi par l'entremise de l'atmosphère que s'accomplit l'échange des molécules entre la terre et les corps errant dans l'espace. Lorsqu'un bolide, lancé comme un énorme

1. Humphreys et Abott, *Report on the Mississippi river*, p. 450.
2. Maury, *Geography of the Sea*.

boulet à travers l'étendue, vient à rencontrer les couches extérieures de gaz qui entourent la planète, il s'enflamme aussitôt, éclate en entier ou seulement à la surface, lance avec explosion quelques débris sur le sol et laisse derrière lui une longue traînée de matière lumineuse semblable à un sillage de feu. Grâce à la résistance opposée par l'atmosphère au passage de l'astre étranger, le globe s'enrichit ainsi chaque année des matières apportées de la profondeur du ciel. Bien plus, les couches d'air, véhicule des ondes sonores, portent aussi les vibrations de lumière et de chaleur. Dépourvu de cette enveloppe, le globe se congélerait immédiatement à la surface et roulerait de cieux en cieux dans une obscurité complète ; mais si l'atmosphère laisse passer les rayons de chaleur lumineuse qu'envoie le soleil, en revanche elle intercepte une grande partie des rayons obscurs qui s'échappent de la terre vers les espaces. C'est ainsi que le globe a pu garder sa température normale et qu'il est devenu le théâtre de la vie[1].

L'atmosphère, qui entretient le mouvement sur la planète par tous les échanges dont elle est le véhicule commun, est aussi le grand intermédiaire par lequel la nature reçoit les merveilleuses couleurs qui l'embellissent. C'est grâce à la réflexion des rayons bleus que le ciel et les hauteurs lointaines de l'horizon prennent cette belle nuance azurée qui varie avec l'altitude des lieux, l'abondance de la vapeur d'eau, le contraste des nuages. C'est à cause de la réfraction des rayons lumineux passant obliquement à travers les couches aériennes que le soleil se fait annoncer chaque matin par les vagues lueurs de l'aube, puis par les splendeurs de l'aurore, et se montre lui-même avant l'heure astronomique de son lever; c'est à un phénomène analogue qu'il doit, le soir, de ralentir en apparence sa descente au-dessous de l'horizon, puis, lorsqu'il a disparu, de colorer longtemps les cieux de la pourpre du crépuscule. Sans l'enveloppe gazeuse de la terre, on ne verrait jamais ces jeux de lumière si variés, ces harmonies changeantes de couleur, ces transformations graduelles

1. Tyndall, *Heat*.

de nuances délicates qui font la merveilleuse beauté des matins et des soirs. Les ouvrages spéciaux de météorologie décrivent longuement tous ces brillants phénomènes de l'air, les arcs-en-ciel, halos, parhélies, et cet admirable spectacle de « l'illumination » qui colore en rose les neiges et les glaces des Alpes, plus de vingt minutes après que le soleil s'est couché. Rien n'est beau comme ce phénomène, dû au contraste des escarpements inférieurs qui se trouvent déjà dans l'ombre et des hautes cimes qu'éclairent encore les rayons solaires recourbés par-dessus l'horizon. Quand l'Aiguille-Verte est voilée par l'ombre, ainsi que les autres sommets voisins du mont Blanc, celui-ci est vraiment transfiguré par la lumière qui brille sur ses neiges. « On croit voir alors un corps étranger à la terre; » puis, tout à coup, la flamme s'éteint, les couleurs si brillantes s'évanouissent « pour faire place à un aspect que l'on peut nommer vraiment cadavéreux; car rien n'approche plus du contraste entre la vie et la mort sur la figure humaine, que ce passage de la lumière du jour à l'ombre de la nuit sur les hautes montagnes [1]. »

Le mirage est un autre singulier effet d'optique, dû à la déviation des rayons lumineux qui traversent l'atmosphère. Quand la surface de la terre est très-échauffée par le soleil, les couches inférieures de l'air se dilatent et souvent deviennent plus légères que les couches placées au-dessus. L'air est-il agité par le vent, il monte alors en oscillant comme la fumée qui s'élève d'un haut fourneau, et derrière cette vapeur semblent trembloter les contours des objets entrevus; le calme règne-t-il dans l'atmosphère, alors tous les corps baignés par les couches plus denses se reflètent, comme dans une nappe d'eau, dans les nappes aériennes plus dilatées, et les images apparaissent doubles : de là le nom d'*espejo* (miroir), que donnent au mirage les habitants de l'Amérique du Sud. En plein désert aride, à des centaines de kilomètres de tout ruisseau, les broussailles, les rochers se réfléchissent dans l'air comme dans le bassin d'une fontaine; sur la mer, les

1. Necker de Saussure, *Annales de Chimie et de Physique*, 1839.

navires, les coteaux du rivage, les signaux se reproduisent comme sur un second Océan; même sur les grandes places de nos cités, que frappe un soleil brûlant, les statues semblent parfois baigner leurs pieds dans une eau cristalline reflétant

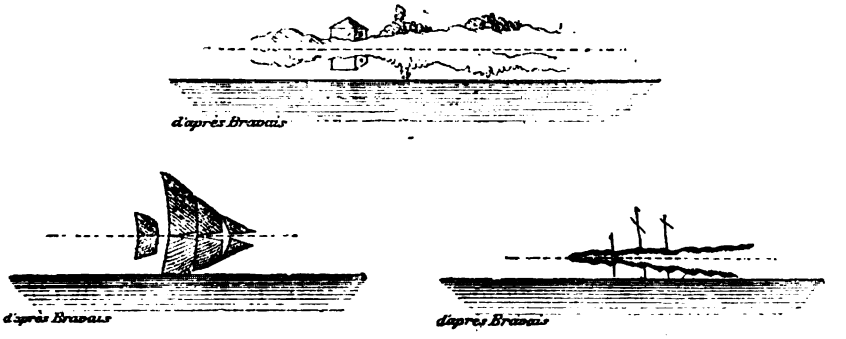


Fig. 95. — Mirages au Verdon, à l'embouchure de la Gironde.

leurs formes gracieuses. Cette illusion d'optique, qui peint ainsi des objets imaginaires jusque dans nos villes, c'est la « fée Morgane de l'Italie, » c'est la décevante « Delibab » de la puszta magyare, c'est la « Soif de la gazelle » des plaines de l'Hindoustan. Elle montre de loin de fraîches oasis et des eaux ruisselantes aux voyageurs fatigués qui, là où brille l'image trompeuse, ne trouveront que l'aridité, la soif et peut-être la mort. Dans les plaines de l'Arabie, la campagne semble tous les jours transformée en un lac immense. A mesure que le soleil s'abaisse, la nappe magique s'éloigne, puis elle s'efface complétement pour reparaître le lendemain une heure ou deux avant midi[1]. C'est au printemps et en automne surtout que dans les pays chauds, et notamment en Égypte, se montrent les mirages bien définis, car à ces époques de l'année les couches aériennes, les unes froides, les autres échauffées par des chaleurs exceptionnelles, offrent les températures les plus inégales[2].

Le phénomène de réflexion est presque toujours accompagné de mouvements latéraux qui déplacent en apparence la

1. Palgrave, *Une année de voyage dans l'Arabie centrale,* trad. Jonveaux.
2. Herm. Schlagintweit, *Reise nach Indien,* premier volume, p. 22, 23.

position des objets, de la même manière que des plaques de verre d'épaisseur inégale; on voit alors de grandes masses de différentes formes se détacher à droite et à gauche des corps éloignés et flotter bizarrement dans l'air. Ces phénomènes de mirage sont des plus curieux dans les mers polaires, parsemées de blocs et de montagnes de glace aux contours déjà si étranges. La surface de l'Océan se hérisse de pointes, d'aiguilles, de crêtes, de corniches en surplomb qui se séparent, se rejoignent, puis s'évanouissent pour reparaître encore. Nulle part on ne voit de plus étonnante fantasmagorie. Quant aux scènes prodigieuses que le mirage figurerait aux yeux du voyageur, en lui montrant des forêts de palmiers, des temples à colonnades, des caravanes, des armées en marche, des populations en fête, il est probable qu'elles sont en grande partie un produit de la fièvre. Sous cet ardent soleil, dans cette

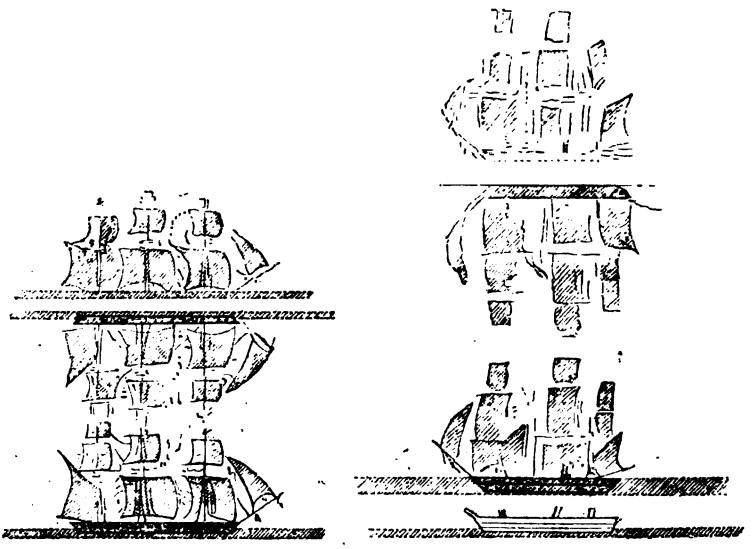


Fig. 96. — Mirages du « Vincennes » et du « Peacock », d'après Wilkes.

atmosphère embrasée, sur ces plaines blanchâtres qui réverbèrent l'éclat et la chaleur, la tête s'échauffe, l'imagination s'exalte et le regard ne voit plus que des formes fantastiques.

II.

Poids de l'air. — Hauteur des couches supérieures. — Mesures barométriques.

Le poids des molécules aériennes, qui se fait sentir d'une manière si terrible dans les ouragans, est relativement minime, puisqu'un litre d'air, pris à la surface du sol et à la température de zéro, pèse 770 fois moins qu'un litre d'eau; cependant la masse atmosphérique entourant le globe est telle que si elle se trouvait tout entière agglomérée en une seule boule, elle pèserait autant qu'une sphère de cuivre de 300 kilomètres de tour : c'est la douze cent millième partie de la masse de la terre [1]. La pression qu'exerce la couche aérienne sur un homme de taille moyenne n'est pas moindre de 14,000 ou 15,000 kilogrammes; il est vrai que cette pression se faisant sentir à la fois dans tous les sens sur nos tissus, elle se trouve par cela même neutralisée. On sait que le poids d'une colonne d'air sur un point quelconque de la terre équivaut en moyenne à celui d'une colonne d'eau de 10 mètres, ou bien à 76 centimètres de mercure : c'est la connaissance de ce fait qui a permis de construire le baromètre.

Toutefois, si l'on connaît le poids de l'atmosphère, on ne saurait dire encore, d'une manière positive, à quelle distance l'air s'élève dans les espaces. Si les couches aériennes avaient la même densité dans les hauteurs qu'à la surface de la mer, leur épaisseur totale ne dépasserait pas 7,953 mètres, et par conséquent les plus grandes montagnes de la terre; le Gaourisankar, le Kinchinjinga, le Dapsang et bien d'autres encore darderaient leurs cimes dans le vide, par delà l'océan atmosphérique. Mais au-dessus des couches inférieures, comprimées par le poids de toute la masse aérienne surincom-

1. John Herschel, *Meteorology*, p. 16.

bante, les molécules s'écartent à mesure que la pression diminue, l'air devient de plus en plus rare dans les hauteurs de l'espace et doit finir même par se perdre complétement, comme le fluide si peu dense qui compose la chevelure des comètes. D'après les calculs de Laplace, c'est à plus de 42,000 kilomètres au-dessus de la surface de la terre que, par suite de l'accroissement de la force centrifuge et de la diminution de la pesanteur, les molécules aériennes qui pourraient encore se trouver dans ces espaces devraient forcément s'échapper de l'orbite terrestre. Peut-être est-ce en effet dans ces régions élevées, aux limites mêmes des sphères d'attraction des astres, que s'opère l'échange de leurs molécules gazeuses. Quoi qu'il en soit, c'est à une hauteur bien minime en comparaison de la limite extrême indiquée par Laplace, que finit pour l'homme l'atmosphère respirable. Au sommet de l'Etna, c'est-à-dire à 3,320 mètres d'élévation, on a sous les pieds près du tiers de la masse aérienne; à 6,000 mètres, hauteur au-dessus de laquelle un grand nombre de montagnes élèvent encore leurs cimes, la colonne d'air qui pèse sur le sol a déjà perdu la moitié de son poids; par conséquent toute la masse gazeuse qui s'étend au-dessus de ce point dans le ciel jusqu'à des distances immesurées est simplement égale aux couches aériennes comprimées au-dessous dans les régions inférieures. A 32 kilomètres de hauteur, d'après Glaisher, la pression barométrique n'est plus qu'un trentième de ce qu'elle est au niveau des mers.

Il y a déjà plus de deux cents ans que Périer, suivant les indications de son beau-frère Pascal, établit par une première expérience directe la diminution du poids de l'air dans le sens vertical; il gravit le Puy-de-Dôme, le baromètre à la main, et pendant l'ascension, la colonne de mercure qui mesurait la pression atmosphérique ne cessa de s'abaisser graduellement dans le tube; le moyen de mesurer la hauteur des montagnes au-dessus du niveau de la mer par la simple lecture des indications barométriques venait d'être découvert. Depuis cette époque, la science a fait de grands progrès, la loi précise de la décroissance du poids de l'air et de tout autre gaz élastique

a été mise en lumière par Mariotte, et d'innombrables voyageurs ont pu, à l'aide du baromètre, indiquer d'une manière approximative l'altitude des points saillants dans les diverses contrées qu'ils avaient parcourues. Toutefois, on ne peut jamais être sûr que le baromètre ait fourni des mesures de hauteur d'une exactitude parfaite. Dans chaque lecture barométrique, il faut tenir compte de la température, de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, de l'agitation des vents, en un mot de toutes les conditions physiques de l'air dont il s'agit de mesurer le poids, et chacune de ces observations secondaires fait introduire une correction plus ou moins forte dans l'énoncé définitif. Les mesures directes obtenues par la trigonométrie sont encore jusqu'à présent les seules qui donnent, d'une manière exacte, la hauteur vraie du sol.

Pour connaître l'altitude des sommets, on emploie aussi un autre moyen, qui, par suite de la défectuosité des instruments, donne en général des résultats encore moins rigoureux que ceux de la colonne barométrique. Ce moyen consiste à mesurer la chaleur de l'eau bouillante. En effet, le point d'ébullition, c'est-à-dire la température à laquelle la tension de la vapeur d'eau équilibre exactement la pression atmosphérique, doit nécessairement s'abaisser à mesure que la pression diminue. On a calculé qu'en moyenne la chute du point d'ébullition est de 1 degré centigrade pour chaque espace de 324 mètres en hauteur verticale; mais les expériences peuvent donner, pour l'altitude de la montagne, des écarts de plusieurs centaines de mètres. Ainsi Tyndall a trouvé, en août 1859, que la température de l'eau bouillante, au sommet du Mont-Blanc, était de 84°,97, tandis que l'année précédente il avait observé sur le Mont-Rose un point d'ébullition légèrement inférieur, et cependant cette dernière cime est de 170 mètres plus basse que le géant des Alpes.

Jusqu'à quelle hauteur l'air est-il encore assez dense pour que l'homme puisse y trouver l'oxygène nécessaire à ses poumons et y vivre, du moins pendant quelques instants? Les gravisseurs de montagnes n'ont point atteint cette extrême

limite, à cause des fatigues de l'ascension qui s'ajoutent pour eux à la difficulté de trouver une quantité d'air suffisante; aussi les plus hautes cimes de l'Himalaya et des Andes sont-elles restées jusqu'à ce jour vierges de pas humains[1]. Au sommet de l'Ibi-Gamin, le point le plus élevé qu'on ait encore escaladé dans une ascension, Robert Schlagintweit se trouvait à 6,704 mètres. La colonne du baromètre y était de 339 millimètres seulement, de sorte que les voyageurs avaient sous les pieds près des trois cinquièmes de la masse de l'air.

Toutefois des aéronautes ont pu, grâce au ballon qui les portait, monter jusqu'à des hauteurs aériennes que n'atteindrait pas même le condor, et d'où les montagnes les plus élevées apparaîtraient comme se dressant du fond d'un abîme. En 1804, Gay-Lussac s'était laissé enlever jusqu'à 7,016 mètres; en 1851, Barral et Bixio montèrent un peu plus haut, à 7,049 mètres; en 1858, Rush et Green s'élevèrent à 8,143 mètres; mais ce ne sont là toujours que des altitudes inférieures à celles des plus hautes sommités des continents. Enfin Glaisher et Coxwell entreprennent à Wolverhampton, le 5 septembre 1862, une expédition aéronautique pour laquelle ils sont résolus à monter aussi longtemps qu'ils pourront garder le sentiment de leur propre existence. L'air, devenu trop rare pour leurs poumons, les force à haleter péniblement, leurs doigts se refroidissent et leur refusent le mouvement; ils sentent que la paralysie les gagne; mais la volonté les soutient, ils versent encore du sable hors de leur nacelle et se donnent ainsi un nouvel élan dans l'atmosphère. Glaisher perd tout pouvoir sur ses bras et sur ses jambes, puis il devient aveugle, il s'évanouit, tout en gardant en son cerveau l'entière activité de sa pensée. Et pourtant Coxwell ne fait rien pour arrêter l'ascension. Graduellement envahi par la torpeur, l'aéronaute attend d'avoir perdu l'usage de ses mains, qui sont devenues toutes noires, mais il tient entre ses dents la corde de la soupape, et lorsqu'il sent qu'une seconde, une seule, les sépare de la mort, lui et son ami, alors, par de violentes

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Montagnes*.

secousses faites en agitant la tête, il laisse échapper le gaz. Le ballon dégonflé s'arrête enfin pour descendre graduellement vers les campagnes situées à plus de 10,000, peut-être à 10,900 ou même à 11,277 mètres au-dessous[1], suivant les indications du thermomètre, qui marquait — 24° 4. Ainsi, tout évanoui qu'il était, Glaisher avait pu parcourir sans accident une hauteur égale à celle de la moitié du Mont-Blanc, ajoutée à celle du colosse le plus élevé de l'Himalaya. Quel noble courage de la part de ces hommes risquant

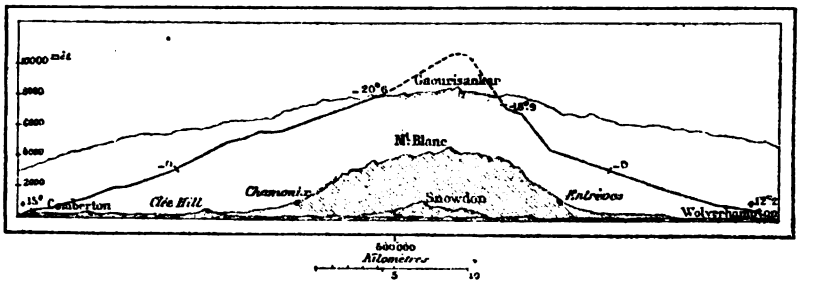


Fig. 97. — Hauteurs comparées de la grande ascension de Wolverhampton, du Gaourisankar, du Mont-Blanc et du Snowdon.

la mort avec tant de simplicité d'âme, et cela pour le seul avantage d'étudier la température d'une atmosphère où ni l'homme ni l'oiseau ne peuvent vivre! Certes ce serait bien rabaisser cette force d'âme et ce calme du savant que de les comparer au courage brutal du soldat se jetant au plus épais de la mêlée furieuse, enivré de poudre, de tapage et de sang!

A la hauteur où se sont élevés Glaisher et Coxwell, ils avaient sous les pieds près des quatre cinquièmes en poids des couches atmosphériques : le cinquième restant, où l'air est trop raréfié pour les poumons de l'homme, s'élève, de plus en plus dilaté, jusqu'à des hauteurs inconnues. Cependant on constate encore la présence du fluide aérien bien au-dessus de l'espace où l'homme a pu monter. En effet, la réfraction des rayons solaires à l'aurore et au crépuscule a permis de calculer depuis longtemps que la partie appréciable de

1. *Les Voyages aériens,* par Glaisher, W. de Fonvielle, Flammarion, G. Tissandier.

l'atmosphère s'élève au moins à 75 kilomètres, puis, grâce au perfectionnement des instruments d'optique, les limites visibles de cet océan d'air qui baigne notre globe ont été graduellement reculées. En relevant les observations faites dans les régions tropicales sur les phénomènes du crépuscule, M. Emmanuel Liais croit pouvoir affirmer que la hauteur de l'atmosphère est en réalité de 320 et même de 340 kilomètres [1]. Par cela même le diamètre réel de la terre se trouverait accru d'un dixième environ. Bien que d'ordinaire cette couche atmosphérique soit laissée en dehors des calculs des astronomes sur les dimensions de la planète, elle n'en doit pas moins être mesurée comme partie intégrante du globe.

III.

Pression moyenne de l'atmosphère sous les diverses latitudes. — Refoulement de l'air dans l'hémisphère boréal. — Oscillations diurnes de la colonne barométrique. — Oscillations annuelles. — Variations irrégulières. — Lignes isobarométriques.

L'atmosphère est d'une telle mobilité que son poids, mesuré d'une manière rigoureuse par la colonne de mercure du baromètre, se modifie incessamment sur tous les points de la terre. Les divers changements météoriques, du froid au chaud, de la sécheresse à l'humidité, augmentent ou diminuent la pression de l'air, et par suite une oscillation correspondante se produit dans le tube de l'instrument : or un volume quelconque de mercure étant environ 10,500 fois plus lourd qu'un volume égal d'air pris au niveau de l'Océan, on doit en conclure que chaque mouvement de la colonne barométrique révèle un changement 10,500 fois plus fort dans les espaces aériens.

1. *Les Espaces célestes et la Nature tropicale.*

Quand l'air est échauffé, soit par l'influence directe du soleil, soit par l'arrivée d'un courant de plus haute température, ses molécules se dilatent, deviennent relativement plus légères et montent dans l'espace pour s'épancher ensuite latéralement : alors la pression diminue et par conséquent la colonne de mercure doit s'abaisser dans le baromètre. Le contraire a lieu quand l'air se condense par le refroidissement et que des masses aériennes affluent pour combler le vide : le poids de l'atmosphère se trouve accru et le niveau du mercure s'élève dans l'instrument. Telle est la raison pour laquelle la baisse du baromètre indique en général un accroissement de température, tandis qu'une diminution de chaleur est marquée par le phénomène contraire. Le baromètre et le thermomètre oscillent en sens inverse. Il est vrai que l'air peut absorber d'autant plus de vapeur d'eau qu'il est plus chaud, et de cette manière la pression, que diminuent d'un côté l'ascension et l'écoulement latéral du fluide aérien, est augmentée de l'autre par l'accroissement de la vapeur contenue dans l'atmosphère; par contre, l'air, devenu plus froid, perd de sa capacité pour dissoudre la vapeur d'eau et s'allége en proportion. Ainsi les phénomènes peuvent se contre-balancer, et ce n'est point sans de nombreuses observations discutées avec sagacité que l'on parvient à démêler ce qui, dans les faibles oscillations barométriques, doit être attribué soit à la pression de l'air pur, soit à celle de la vapeur d'eau. Quant aux variations brusques, sur le compte desquelles on ne peut se tromper, elles sont parfois énormes; il en est même qui sont marquées dans la colonne de mercure par un écart de 5 ou de 6 centimètres, un quinzième de la hauteur totale. A l'agitation du liquide dans l'instrument répond alors une tempête dans l'océan des airs [1].

La pression de l'atmosphère varie sur toutes les parties de la terre, et pour le globe entier on ne saurait encore la préciser avec rigueur. Il est probable cependant qu'à la surface des mers elle dépasse en moyenne d'une légère fraction le chiffre de 761 millimètres. Vers l'équateur, la pression

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Ouragans*.

ordinaire est de 758 millimètres seulement; mais à partir du 10e degré de latitude dans les deux hémisphères, la pression s'accroît peu à peu, et vers le 30e ou 35e degré, elle atteint son maximum, 762 ou 764 millimètres. Au delà, dans la direction des pôles, la pression diminue; vers le 50e degré, elle est de 750 et plus au nord de 755 et même de 752 millimètres seulement; mais, à partir du 65e degré, elle se relève graduellement. Ainsi c'est à peu près à égale distance entre le pôle et l'équateur que l'air exerce en moyenne sa plus forte pression sur la colonne barométrique; toutefois la vapeur d'eau étant beaucoup plus considérable dans les couches aériennes de la zone tempérée que dans celles de la zone polaire, il se pourrait que, l'air étant parfaitement sec, la pression en augmentât continuellement de l'équateur vers les pôles, en proportion plus ou moins régulière avec l'abaissement de la température: c'est là du reste un phénomène que rend très-probable le mouvement de hausse qui se produit d'ordinaire dans le baromètre par le passage de la chaleur au froid. Quoi qu'il en soit, les recherches de James Ross et de Wilkes dans les mers australes établissent qu'en moyenne le baromètre est légèrement plus haut dans l'hémisphère du nord que dans celui du sud. Il faut nécessairement en conclure qu'une plus forte quantité d'air s'est accumulée sur la moitié de la terre où sont groupés les continents. Ainsi que le remarque John Herschel, le courant d'une rivière est toujours ridé au-dessus d'un lit inégal et pierreux; de même l'atmosphère doit se gonfler en vagues au-dessus des masses continentales. C'est là ce qui explique cet étonnant contraste des airs entre les deux moitiés du monde [1].

Si la pression normale des couches atmosphériques diffère au niveau de l'Océan sous les diverses latitudes, elle varie aussi sur chaque point de la terre, suivant les heures et les saisons; elle obéit au rhythme du temps comme à celui des espaces. Chaque jour, la masse aérienne oscille deux fois en sens inverse. Le matin, vers quatre heures, la colonne baro-

1. W. Ferrel, *Motions of fluids and solids*, p. 39.

métrique présente un premier minimum de hauteur; mais elle se relève graduellement et, vers dix heures du matin, elle atteint son élévation la plus considérable; ensuite la pression de l'air diminue jusque vers quatre heures du soir, moment auquel le baromètre est à son minimum de hauteur; puis la colonne de mercure recommence à monter jusqu'à dix heures de la nuit pour redescendre encore pendant six heures. Les périodes du jour où s'opère le changement d'allures sont connues sous le nom d'heures « tropiques ». La courbe des varia-

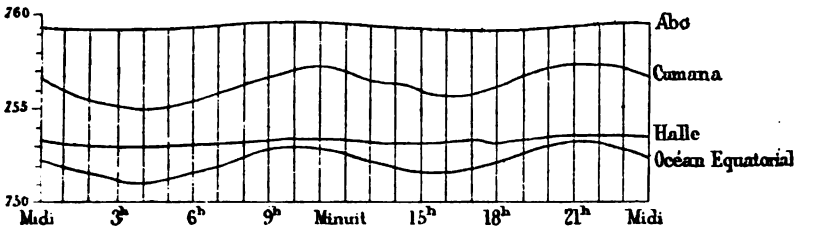


Fig. 98. — Heures tropiques de l'Océan équatorial, de Cumana, de Halle et d'Abo; d'après Kämtz.

tions, on le voit par la figure précédente, est beaucoup plus régulière dans la zone équatoriale que dans la zone tempérée.

Quelle est la cause de cette double oscillation diurne? Plusieurs météorologistes voyaient jadis dans ces mouvements du baromètre des marées régulières semblables à celles de l'océan des eaux, et obéissant comme elles aux influences combinées de la lune et du soleil; mais ces oscillations se produisent toujours en moyenne aux mêmes heures et n'offrent point, à l'époque des syzygies et des quadratures, de phénomènes correspondant à ceux du flux et du reflux [1]. Des recherches d'Aimé, de Flaugergues et d'autres physiciens ont, il est vrai, établi l'existence d'une marée aérienne; mais l'amplitude de ce mouvement est très-faible en comparaison de celui qui se produit entre les heures tropiques. C'est donc par la double influence de la chaleur du jour et de la pression de la vapeur d'eau qu'il faut expliquer, avec Dove, les deux mouvements de hausse et de baisse qui ont lieu chaque jour dans la colonne de mercure. A partir des heures froides du

1. Voir, ci-dessus, le chapitre intitulé *les Marées*.

matin, l'accroissement graduel de la température doit avoir pour conséquence de dilater l'atmosphère et de faire baisser le baromètre; mais tandis que la pression de l'air diminue, la quantité de vapeur d'eau augmente rapidement, et sa pression s'ajoutant à celle des couches aériennes, produit une sorte de vague temporaire, après laquelle la colonne barométrique continue de baisser pour remonter avec le refroidissement nocturne. Si la pression de la vapeur d'eau venait à disparaître de l'atmosphère, le baromètre s'élèverait régulièrement dans toutes les saisons vers le milieu de la nuit, et serait au plus bas vers le milieu du jour. C'est là ce que montre la figure suivante, représentant l'oscillation barométrique de l'air sec

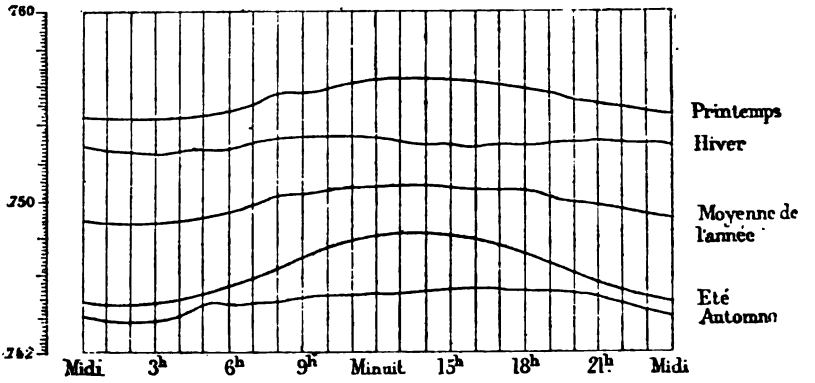


Fig. 99. — Pression de l'air sec à Apenrade; d'après Kämtz.

au port d'Apenrade, en Danemark, sur un estuaire de la Baltique. Dans les pays très-secs, tels que la Sibérie orientale, la pression de la vapeur d'eau est trop faible pour contre-balancer l'action de la température, et par suite il ne se produit pendant les vingt-quatre heures que deux oscillations, l'une de baisse avec l'accroissement de la chaleur, l'autre de hausse avec le froid de la nuit.

Les mouvements diurnes du baromètre sont beaucoup plus réguliers et plus faciles à constater dans les régions équatoriales et près du niveau de la mer que sous les hautes latitudes et dans l'intérieur des continents. C'est qu'en effet sur les mers des tropiques les alternatives de la température, de l'évaporation et de la précipitation se succèdent, comme tous

les autres phénomènes physiques, avec une régularité plus grande que sur toutes les autres parties du globe. Aussi est-ce dans les mers équatoriales que les oscillations diurnes ont été observées pour la première fois, et c'est dans ces mêmes parages que Humboldt a pu en connaître exactement les heures. Dans les régions tempérées, ces mouvements réguliers de la colonne barométrique sont en grande partie cachés par les brusques sauts du mercure, obéissant aux variations constantes de l'atmosphère : ce n'est donc qu'après une série plus ou moins longue de jours ou même de semaines que les météorologistes peuvent, en établissant des moyennes, révéler des oscillations normales analogues à celles qui se produisent à l'équateur. Dans les hautes régions de montagnes, il est encore plus difficile de constater la succession régulière des vagues barométriques, car les changements qui s'accomplissent dans les couches inférieures de l'air ne sont ressentis que plus tard et se mêlent diversement dans les couches plus élevées. Ainsi la hausse du baromètre, qui a lieu vers dix heures du matin à Zurich, ne se produit au sommet du Righi qu'à deux heures de l'après-midi, et à trois heures seulement sur le Faulhorn ; souvent même, la dépression de la colonne barométrique ne se fait point sentir l'après-midi sur ces hauteurs et chaque jour n'offre qu'une seule grande oscillation. En moyenne, l'amplitude des indications barométriques diminue peu à peu de la base au sommet des montagnes [1].

Les variations annuelles de la pression de l'air offrent des alternatives analogues à celles des variations diurnes. Dans les contrées tropicales, où les saisons se suivent avec une grande régularité, et dans les pays de l'intérieur des continents, dont l'air ne contient qu'une faible quantité de vapeur d'eau, le mercure du baromètre s'abaisse graduellement de l'hiver à l'été, en raison inverse des chaleurs, et remonte avec les froids, de l'été à l'hiver; à Calcutta, à Bénarès, dans l'Hindoustan, comme à Pétersbourg, en Russie, et à Nertschinsk, dans la Sibérie, le maximum de la pression de l'air se fait sen-

1. Mühry, *Allgemeines Klima der Schweiz.*

tir au mois de janvier, tandis que le minimum se produit au mois de juillet : la masse aérienne est donc tantôt plus forte, tantôt plus faible dans chaque hémisphère, suivant les alternances régulières de la chaleur et du froid. Ainsi que le montre la figure suivante, la variation annuelle dans la pres-

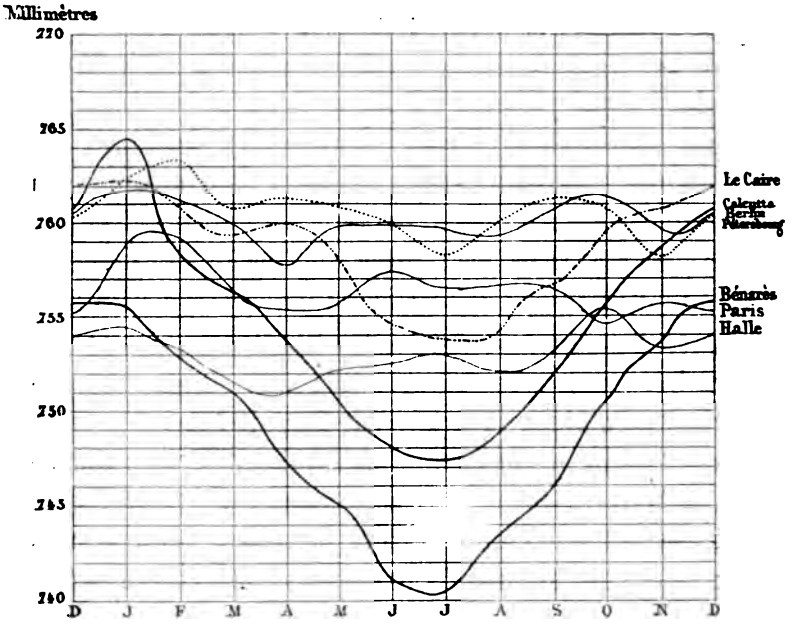


Fig. 100. — Variations mensuelles de la pression de l'air au Caire, à Calcutta, Berlin, Pétersbourg, Bénarès, Paris et Halle.

sion de l'air s'accomplit de la même manière dans tous les pays situés du même côté de l'équateur; mais le phénomène est beaucoup plus frappant sous le climat tropical que sous les hautes latitudes. Surtout aux bords de l'Océan, dans la zone tempérée, la pression de la vapeur d'eau pendant l'été s'accroît d'une manière considérable et, contre-balançant ainsi l'effet normal de l'air sec, donne à la courbe barométrique un maximum d'été qui correspond à la hausse diurne de dix heures du matin, ou bien même complique d'irrégularités très-nombreuses la série des variations mensuelles; dans l'intérieur des continents, au contraire, principalement dans la froide Sibérie, le maximum d'hiver se montre dans toute sa netteté. Chacune de ces inflexions correspond à quelque phé-

nomène important dans le climat local, froid ou chaleur, tempête ou tranquillité de l'air, sécheresse ou grande quantité de vapeur d'eau. En général, c'est à l'époque des équinoxes, lorsque la température est à peu près égale à la moyenne annuelle, que s'établit la pression barométrique moyenne de l'année.

Quant aux variations irrégulières, elles s'accomplissent aussi dans les diverses régions du globe suivant un certain rhythme, qu'il faudra nécessairement connaître dans toutes ses modulations avant de pouvoir résoudre d'une manière définitive le grand problème de la prévision du temps. A l'équateur, elles sont presque nulles; mais à mesure que l'on se rapproche de l'un ou de l'autre pôle, les irrégularités deviennent plus marquées, et les sauts produits dans la colonne de mercure par les brusques changements de température, par les alternatives des vents et des orages, se succèdent plus fréquemment. Dans les mers tropicales, ces écarts de hauteur barométrique sont de quelques millimètres à peine, tandis que dans les latitudes tempérées ils ont dépassé 54 millimètres à Milan pour une période de 81 ans et 65 millimètres à Pétersbourg pour une période de 19 années. Afin d'obtenir des chiffres plus comparables entre eux, Kämtz a calculé pour chaque station l'amplitude mensuelle des oscillations du baromètre, et de cette manière il a pu dresser le tableau suivant :

Latitude.	Amplitude barométrique mensuelle.
0° à 10°.	2mm98
10° à 20°.	4 79
20° à 30°.	8 41
30° à 40°.	13 50
40° à 50°.	20 77
50° à 60°.	26 30
60° à 70°.	30 78

Toutefois il ne faut point s'attendre à trouver exactement la même amplitude mensuelle sur tous les points de la terre situés à une égale distance de l'équateur. Sous ce rapport, on observe au contraire de très-grandes diversités qu'il faut attri-

buer à la différence des formes continentales et des climats. En réunissant les uns aux autres tous les points où se produit la même variation mensuelle dans la pression de l'air, on obtient une série de lignes dites *isobarométriques*, qui se recourbent toutes vers le nord à travers l'océan Atlantique et qui ressemblent beaucoup dans leur ensemble aux lignes dites isothermes[1]. Ce sont ces courbes, imaginées par Kämtz, qui indiquent la véritable latitude pour les mouvements généraux de l'atmosphère. En dépit de l'extrême mobilité des airs, en dépit des vagues de tempête qui se déroulent avec fureur de l'un ou de l'autre point de l'horizon et troublent pour un moment la régularité des phénomènes atmosphériques, ces lignes maintiennent d'année en année leur direction moyenne; indices des

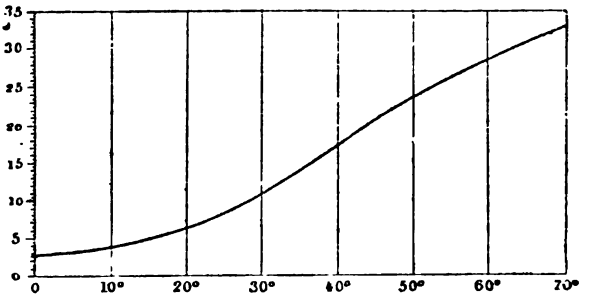


Fig. 101. — Amplitude mensuelle du baromètre dans l'hémisphère boréal.

troubles de l'air, elles montrent par leur permanence et leur régularité combien ces troubles dépendent eux-mêmes des grandes lois qui régissent la planète.

IV.

Loi générale de la circulation des vents. — Alizés du nord-est et du sud-est. Calmes équatoriaux. — Oscillations du système des vents.

Dans les régions continentales et principalement dans celles de la zone tempérée, il serait souvent difficile de reconnaître

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Climats*.

au premier abord la loi générale qui préside aux mouvements de l'atmosphère, car ces diverses oscillations peuvent être modifiées par une foule de circonstances locales, telles que la direction et la hauteur des chaînes de montagnes, l'étendue des plaines, les contours des rivages, l'abondance ou la rareté de la végétation. Dans un même jour, les vents soufflent parfois successivement de tous les points de l'espace, et parmi ces rapides changements que subissent les courants atmosphériques, il n'est pas toujours possible de constater avec certitude la direction normale de la masse d'air en mouvement. Pour comprendre les lois de l'atmosphère dans leur simplicité, il faut se transporter aux régions équatoriales de l'Océan, au-dessus desquelles le soleil décrit chaque jour son immense demi-cercle dans l'espace de douze heures, et où tous les mouvements de la nature, réglés par la marche uniforme de l'astre, ont quelque chose de rhythmique comme les cycles des cieux. C'est là qu'on peut surprendre, pour ainsi dire, le déplacement des premières molécules gazeuses entraînant après elles l'immense nappe des airs sur toute la rondeur du globe. On y assiste à la naissance des vents. C'est là que siégerait Éole, si les dieux vivaient encore.

Pendant les journées d'été, on aperçoit au loin sur la terre échauffée un mouvement vibratoire de l'air, une espèce de tremblotement vaporeux rendu sans doute visible par le mirage incessamment changeant des objets situés au delà[1]. C'est que les couches de l'atmosphère reposant sur le sol se sont graduellement dilatées et s'élèvent en spirales à travers le milieu plus froid et plus dense qui pèse sur elles : de même l'air raréfié des fournaises monte rapidement vers les régions supérieures où l'entraîne sa légèreté relative.

Un mouvement semblable se produit sur une très-grande échelle dans les régions équatoriales. La grande force des rayons du soleil se faisant principalement sentir dans ces contrées de la terre, les couches aériennes s'y dilatent sous l'influence de la chaleur beaucoup plus que dans les autres lati-

1. Voir, ci-dessus, page 270.

tudes; elles deviennent plus légères, ainsi que le démontre la faible pression de l'air sur la colonne barométrique, et s'élèvent rapidement dans l'espace. Il se forme donc un vide que les masses d'air adjacentes se hâtent de remplir, et deux courants horizontaux viennent alimenter le grand courant vertical qui monte des régions équatoriales vers les hauteurs de l'espace; mais ces courants horizontaux eux-mêmes laissent derrière eux des vides vers lesquels de nouvelles masses aériennes se précipitent; les ondes atmosphériques s'ébranlent de proche en proche dans toutes les zones jusqu'aux glaces polaires, et des deux bouts de la planète se mettent en marche vers l'équateur, où les attire comme un foyer d'appel le mouvement ascendant de l'air suréchauffé. Deux vents, l'un du nord, l'autre du sud, prennent chacun leur origine au milieu des glaces opposées des deux pôles pour aller se rencontrer sur la rondeur équatoriale.

Si la terre n'était pas emportée par un mouvement de rotation autour de son axe, les courants atmosphériques afflueraient directement vers l'équateur sans s'écarter à droite ou à gauche des lignes de méridien; le courant boréal coulerait en ligne droite vers le sud, le courant austral se dirigerait exactement vers le nord, et tous deux se rencontreraient de front dans les régions équatoriales. Mais il n'en est pas ainsi, à cause de la rotation du globe d'occident en orient. La vitesse de ce mouvement varie pour chaque point de la surface terrestre comme le diamètre de sa latitude; nulle aux deux pôles, elle est de 835 kilomètres par heure au 60e degré de latitude nord ou sud; à l'équateur même elle est de 1,670 kilomètres. La masse d'air qui afflue des pôles vers la zone tropicale traverse ainsi successivement des latitudes dont la vitesse angulaire autour de l'axe du globe est plus forte que la sienne, et par conséquent elle doit successivement dévier vers l'ouest, en sens opposé du mouvement général de la terre. Au lieu de se diriger perpendiculairement vers l'équateur pour former avec lui un angle de 90 degrés, les courants aériens venus des pôles frappent obliquement la ligne équinoxiale sous un angle aigu. Ainsi le même phénomène planétaire qui cause la déviation

des cours d'eau[1], la formation des courants océaniques[2] et peut-être même, d'après M. Musset, le gonflement du tronc des arbres dans le sens de l'est à l'ouest (?), suffit également pour mettre en mouvement toute la masse de l'atmosphère. Les fleuves de l'air reproduisent, mais dans de plus vastes proportions, à cause de leur plus grand domaine, les immenses courbes des fleuves de l'Océan. Les deux fluides en mouvement, vents et courants maritimes, se superposent dans leur marche autour de la planète.

Dans la zone tropicale, où l'appel incessant produit par le courant ascendant détermine un afflux constant de masses d'air provenant du nord et du sud, le système circulatoire des vents offre en général une assez grande régularité. En cette partie de la sphère terrestre, les masses aériennes se meuvent uniformément, celles de l'hémisphère septentrional dans le sens du nord-est au sud-ouest, et celles de l'hémisphère méridional dans le sens du sud-est au nord-ouest. Ainsi deux courants atmosphériques ne cessent de se diriger obliquement à la rencontre l'un de l'autre. Ce sont les vents alizés, que les anciens connaissaient à peine et dont la découverte complète était réservée aux grands navigateurs espagnols et portugais. Parmi toutes les merveilles qu'ils découvrirent dans les régions tropicales, aucune ne les étonna plus vivement que ces brises soufflant invariablement du même point de l'horizon. Accoutumés aux vents changeants et irréguliers des mers de l'Europe, ils étaient presque épouvantés de la constance de ces vents qui les poussaient vers l'équateur et ne refluaient jamais dans la direction de leur patrie; les compagnons de Colomb y voyaient l'effet des sortiléges du diable et se demandaient avec effroi si tout ce mouvement des ondes aériennes ne se dirigeait pas vers quelque gouffre situé aux limites du monde. Toutefois les navigateurs se familiarisèrent promptement avec les parages tranquilles que parcourent les vents alizés. Les marins espagnols appelaient jadis la partie tropicale de l'océan Atlan-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.
2. Voir, ci-dessus, page 73.

tique *el golfo de las Damas* (la mer des Dames), parce qu'on aurait pu sans danger y confier la barre d'un navire à une jeune fille; de même, suivant Varenius, les matelots partis d'Acapulco pouvaient s'endormir sans s'occuper du gouvernail, avec la certitude d'être conduits par le vent, à travers les eaux calmes du Pacifique, jusqu'aux rivages des Philippines. Frappés des immenses avantages que la constance des vents alizés présente à la navigation, les Anglais leur ont donné spécialement le nom de *trade-winds* (vents du commerce). Le vieux terme par lequel le désignèrent les marins français en indique le mouvement égal, continu, régulier.

Toutefois, il faut le dire, ces vents n'ont point une marche tellement certaine qu'on puisse y compter comme sur le retour des astres. Les alternatives des saisons et les grands troubles atmosphériques les font osciller à droite ou à gauche, les retardent ou les accélèrent, parfois même les neutralisent pour un temps. Dans le voisinage des côtes, les extrêmes de chaleur et de froid qui se succèdent sur les continents font dévier les vents de leur direction [1], et par conséquent c'est au large seulement, à une grande distance du littoral, que les voiles des navires sont enflées par une brise soufflant d'une manière presque constante du même point de l'horizon; mais alors le vent est toujours plus fort le matin et le soir que pendant les chaleurs du jour. Dans l'Atlantique, bordé de part et d'autre de continents de formes assez régulières, les alizés ont les allures les plus égales. Dans le Pacifique, la multitude des îles qui parsèment la surface des eaux modifie puissamment le régime normal des vents, et, sur une très-grande étendue de leur domaine naturel, les alizés sont transformés en brises alternantes. Au nord de l'équateur, les vents du nord-est ne soufflent d'une manière constante qu'entre les îles Revillagigedo et les Mariannes. Quant aux alizés méridionaux, bien plus resserrés encore, ils commencent vers le groupe des Gallapagos, à 1,000 kilomètres de la côte d'Amérique, et vers l'ouest ne dépassent pas l'archipel de Noukahiva et les îles Basses.

1. Voir, ci-dessous, figure 106.

En se heurtant l'un contre l'autre, les deux vents opposés se tiennent réciproquement en échec, et par conséquent leur force de translation horizontale vers le sud ou vers le nord se neutralise. Il est probable toutefois que les deux masses aériennes ont une tendance à se propager vers l'ouest comme le courant océanique dont les ondes coulent au-dessous; déjà Kepler faisait remarquer qu'en s'élevant dans l'espace, l'air traverse des régions de plus en plus éloignées du centre de la terre et que par conséquent elles doivent rester en arrière du mouvement du globe et reculer en apparence vers l'occident [1]. Quoi qu'il en soit, la rencontre des vents alizés a pour résultat de former tout autour de la terre une zone circulaire de calmes, de vents variables et de brusques remous aériens qui, suivant les saisons, occupent une largeur de 250 à plus de 1,000 kilomètres au-dessus de la mer. Du reste, il ne faut pas croire que dans cette zone dite des calmes, l'air soit généralement tranquille; seulement l'atmosphère y est plus souvent en état d'équilibre qu'elle ne l'est en toute autre partie de la surface du globe. D'après les *Pilot charts* de Maury, la durée moyenne des calmes de l'Atlantique, entre le 5e et le 18e degré de latitude nord, est à celle des vents dans la proportion de 98 à 802 ou de 1 à 8. Pendant la période où les calmes se produisent le plus fréquemment, c'est-à-dire au mois de novembre, et dans l'espace compris entre le 12e et le 17e degré de latitude ouest, ils durent en moyenne deux fois moins que les vents provenant d'un point quelconque de l'horizon.

On le comprend, cette zone qui sépare les deux vents alizés du nord et du sud doit nécessairement se déplacer suivant les saisons avec la position du soleil, puisqu'elle occupe précisément sur la rondeur du globe les parages dont les couches atmosphériques sont le plus fortement échauffées par les rayons solaires et où se produit le mouvement vertical de l'air dilaté. Quand le soleil franchit la ligne équatoriale pour se porter vers le tropique du Cancer, le foyer d'appel des vents alizés et par suite la bande de calmes se déplacent

1. Mühry, *Ausland*, 6 fev. 1869, p. 133, 134.

en même temps vers le nord; après le 21 septembre, au contraire, lorsque le soleil retourne vers le tropique du Capricorne, la zone la plus échauffée de l'air est graduellement ramenée vers le sud avec tout le système circulatoire des alizés. A la fin de mars, la limite septentrionale des calmes équatoriaux de l'Atlantique se trouve en moyenne vers le 2e degré de latitude nord, tandis qu'à la fin de septembre cette même limite atteint d'ordinaire le 13e ou le 14e degré [1]. Quant à la limite méridionale, elle oscille dans le même océan de 1 à 4 degrés de latitude nord [2]. Dans les régions équatoriales du Pacifique, la zone des calmes se déplace également de mois en mois d'accord avec la marche du soleil, et sa largeur varie de 220 kilomètres, au mois de février, à plus de 1,350 kilomètres, au mois d'août [3]. Sous ce rapport, l'analogie est presque complète entre les deux grands océans. Par suite de cette périodicité annuelle, tout le système aérien oscille incessamment avec la marche du soleil, et c'est pour cela que, dans l'hémisphère septentrional, les vents du nord, attirés violemment vers le midi, sont beaucoup plus forts en hiver. En outre, il existe probablement des oscillations mensuelles et semi-mensuelles provenant des déclinaisons de la lune [4].

La partie médiane de la zone des calmes, que l'on peut considérer comme l'équateur météorologique du monde, ne correspond donc pas avec l'équateur proprement dit. Sur la terre, de même que dans les organismes supérieurs, le principal siége de la vie est placé en dehors du milieu géométrique. Le système complet des vents incline vers l'hémisphère boréal, et c'est au nord de la ligne que se développe en toute saison la ceinture des calmes équatoriaux. Ce phénomène, qui peut sembler étrange au premier abord, provient du groupement de la plupart des terres continentales dans l'hémisphère du nord et de la différence de température qui doit être, au moins pour une partie de la planète, la conséquence de cette

1. D'Après; — Dove, *la Loi des tempêtes,* traduction Legras, p. 17.
2. Horsburgh, *East India directory,* vol. I, p. 25.
3. Kerhallet, *Considérations générales sur l'océan Pacifique.*
4. Keller; — Rennell.

inégale répartition du solide et du liquide. C'est aussi dans l'hémisphère boréal du monde que se trouve le désert du Sahara, le véritable sud géographique de la terre, cette immense étendue où les terrains boisés sont relativement si peu nombreux, et où la réverbération des sables et des rochers brûlants vaporise les nuages que portent les courants atmosphériques. Le Sahara et, dans une moindre mesure, toutes les contrées tropicales de l'hémisphère du nord agissent comme un grand foyer d'appel, vers lequel se dirigent les masses aériennes. Il ressort des tables dressées par Dove que la température moyenne de l'année est plus élevée vers le 10e degré de latitude nord (26° 62) qu'elle ne l'est à l'équateur même (26° 50), tandis que la moyenne estivale est plus forte vers le 20e degré de latitude (27° 50) que dans aucune autre région du monde [1]. La haute température des continents oblige donc le système austral des vents à empiéter sur le système boréal.

V.

Contre-alizés ou vents de retour.

Les masses aériennes amenées par les deux vents alizés ne peuvent point s'accumuler incessamment dans la région des calmes équatoriaux; elles se dilatent, s'élèvent à plusieurs kilomètres de hauteur, puis, après s'être mélangées et même partiellement croisées, elles se divisent de nouveau en deux grands courants de retour, qui s'écoulent en sens inverse dans les régions supérieures de l'atmosphère. Ainsi que l'affirmait, il y a bientôt deux siècles, le physicien Halley, qui donna le premier la théorie des vents alizés, il serait absolument impossible, si ces deux contre-courants atmosphériques n'existaient pas, que l'équilibre de l'air pût se rétablir à la surface

1. Dove, *Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde.*

du globe; ce que le souffle des alizés apporte vers l'équateur, il faut nécessairement que d'autres vents le ramènent vers les pôles. Le mouvement des gracieux nuages si déliés que l'on voit d'en bas dans les hauteurs de l'air voler en sens inverse des vents alizés, est une preuve incontestable de l'existence de ces courants supérieurs de retour [1]. D'ailleurs, deux grandes explosions volcaniques, souvent mentionnées par les savants, ont aussi fourni des témoignages frappants qui confirment la théorie de Halley d'une manière indubitable. Le 1er mai 1812, alors que le vent alizé du nord-est était dans toute sa force, d'énormes quantités de cendres obscurcirent l'atmosphère au-dessus de l'île de Barbadoes, et recouvrirent le sol d'une couche épaisse. D'où provenaient ces nuages de poussière? On eût pu supposer qu'ils provenaient des volcans des Açores, qui se trouvent au nord-est, et cependant ils avaient été vomis par le cratère du Morne-Garou, situé dans l'île de Saint-

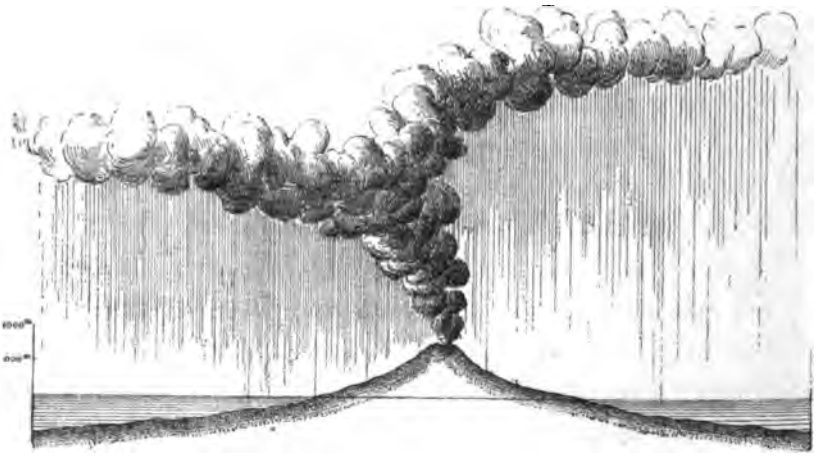
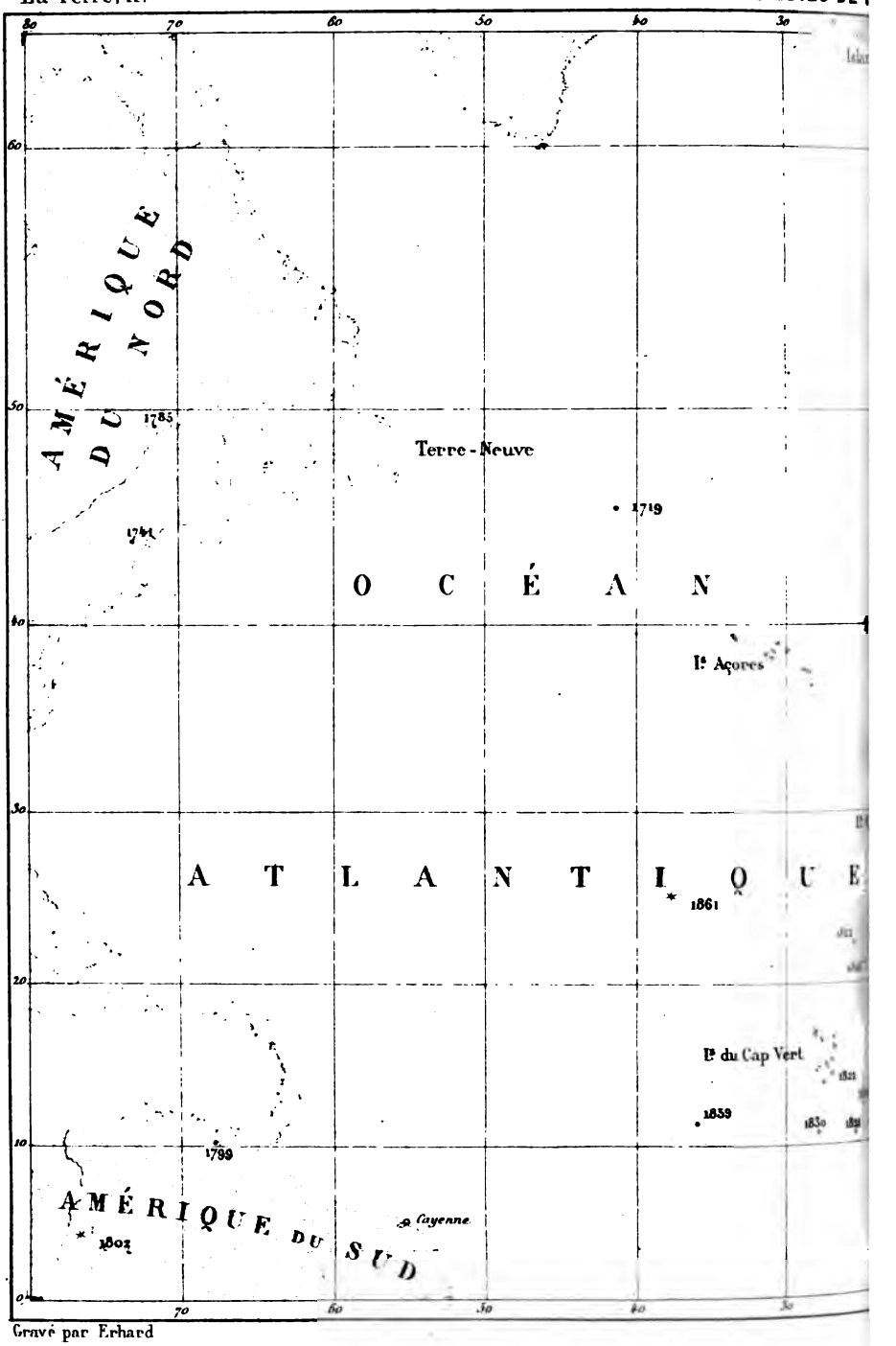


Fig. 102. — Nuage de cendres du Morne-Garou.

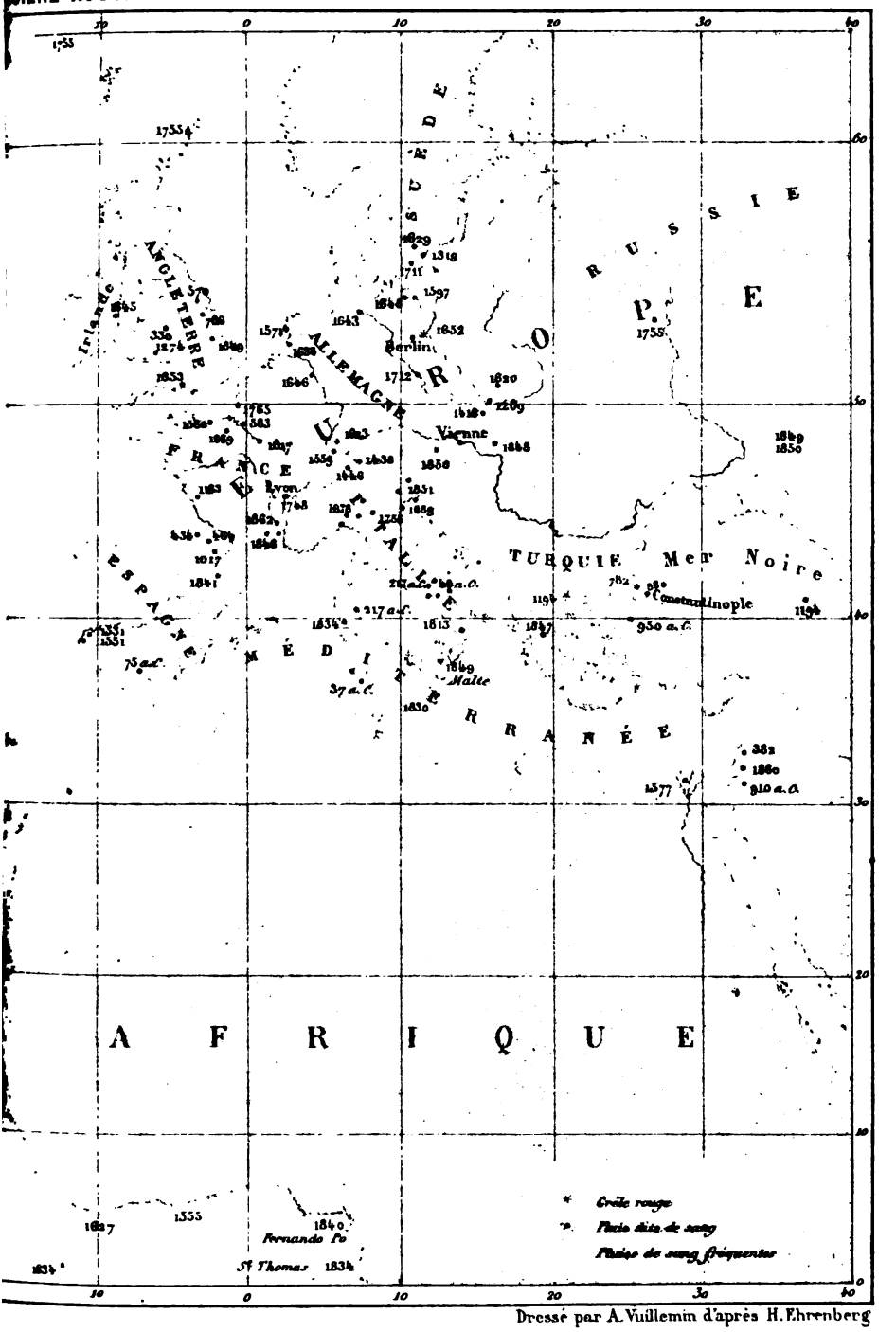
Vincent, à 200 kilomètres à l'ouest. Il est donc certain que les cendres avaient été lancées par la force de l'éruption au-dessus de la nappe mouvante des vents alizés, dans un fleuve aérien marchant en sens contraire. De même, lors de la terrible éruption du volcan de Coseguina, dans l'Amérique cen-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Volcans*.

[illegible]



Gravé par Erhard



Dressé par A. Vuillemin d'après H. Ehrenberg

[illegible]

trale, les cendres furent emportées par les alizés de retour jusqu'aux rivages de la Jamaïque, qui ne se trouvent pas à moins de 1,300 kilomètres au nord-est de la bouche d'explosion.

Sur les côtes d'Afrique et sur le littoral de la Méditerranée, des grains de poussière, presque imperceptibles isolément, donnent une autre preuve bien remarquable de l'existence d'un grand courant de retour dans les hautes régions de l'atmosphère. Parfois il tombe du ciel une pluie de poussière jaune ou rouge et semblable à de la brique pilée; des navires qui se trouvaient dans les parages du cap Vert, sur les côtes du Maroc ou dans les eaux de la Méditerranée, ont eu leur pont et leur voilure entièrement saupoudrés de ces molécules ténues : de même, dans le voisinage des forêts de pins, le sol et la surface des ruisseaux sont couverts d'une poudre jaune, qui est le pollen des arbres. Humboldt, qui eut l'occasion d'observer une pluie de poussière au milieu de l'Atlantique, croyait qu'elle était composée de grains siliceux enlevés par les tourbillons de vent aux plages du Sahara. Quant aux matelots témoins de ce phénomène, ils y voient tout simplement une pluie de soufre. Mais Ehrenberg, à l'aide de son microscope, a révélé la nature de cette poussière, qui n'est autre chose, du moins dans les parages de l'Atlantique et de la Méditerranée, qu'un amas d'animalcules siliceux provenant des *llanos* de l'Amérique du Sud. Il est donc certain que ces myriades d'organismes, soulevées dans les hauteurs des airs par le courant ascendant de l'équateur, ont trouvé au-dessus des vents alizés un courant de retour qui leur a fait franchir l'immense bassin de l'Atlantique pour les porter sur les côtes de l'Afrique ou même de l'Europe, jusque dans le bassin du Rhône. Les courants aériens sont devenus visibles, pour ainsi dire, au moyen de ces nuages d'infusoires [1].

Dans la zone équatoriale, le contre-courant des vents alizés ne peut guère commencer qu'à une hauteur de 7 à 8 kilomètres au-dessus du niveau de la mer, car les plus hauts sommets des Cordillères restent en entier baignés dans le

1. Maury, *Geography of the Sea.*

courant inférieur, et les vapeurs qui s'élèvent de la cheminée du Cotopaxi, pour monter dans l'espace à plusieurs centaines et même à plus de 2,000 mètres au-dessus du cratère, lui-même haut de 5,398 mètres, ne cessent de se diriger vers l'ouest. Dans la république de Costa-Rica, sous le dixième degré de latitude nord, la cime du Turrialba, qui s'élève à 3,435 mètres, est encore plongée, ainsi que ses colonnes de vapeur, dans la

ILE DE TÉNÉRIFFE.

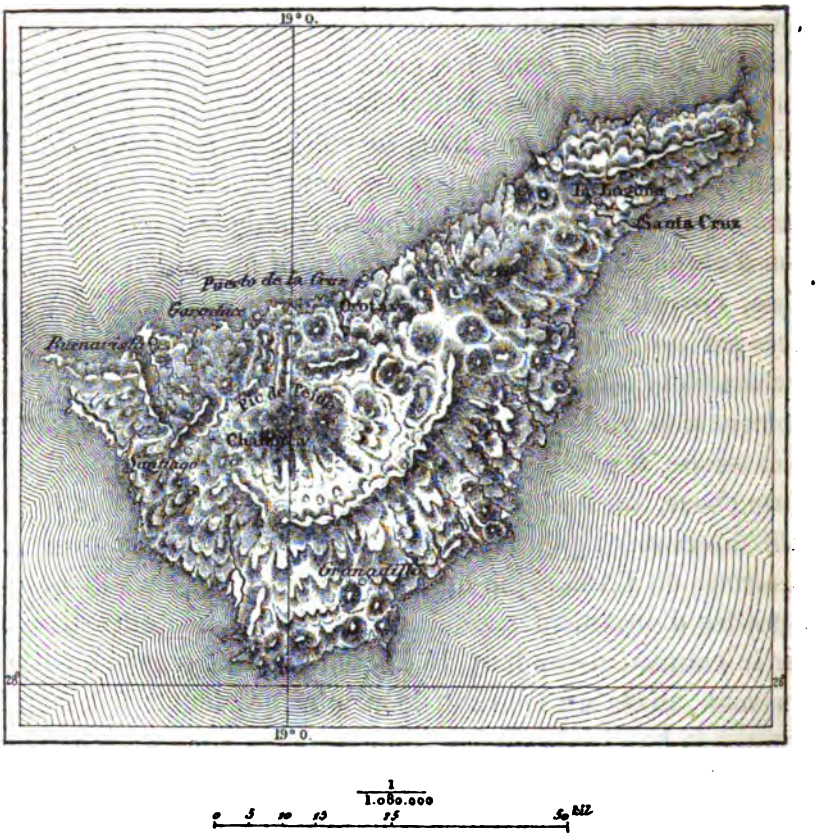


Fig. 103.

zone inférieure des vents alizés [1]. La montagne la plus méridionale du bassin de l'Atlantique où l'on ait observé le vent du retour est le pic de Teyde, dans l'île de Ténériffe. Là, les masses d'air refoulées de la zone équatoriale se sont déjà suf-

1. Mühry, *Ausland*, 6 fev. 1869.

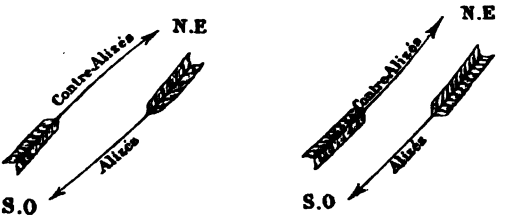
fisamment abaissées pour entourer presque en toute saison la pointe terminale du volcan, haute seulement de 3,675 mètres. En hiver, lorsque tout le système circulatoire de l'atmosphère est descendu vers le sud en suivant la marche du soleil, le courant de retour s'abaisse des hauteurs de l'air et vient frapper la surface des eaux vers les côtes du Portugal, pour rétrograder ensuite et se faire sentir successivement à Madère et sur les pentes moyennes et basses du pic de Teyde [1]. D'après l'astronome Piazzi Smyth, c'est en moyenne à 2,740 mètres de hauteur verticale que se trouve alors le plan de séparation entre les deux fleuves aériens coulant en sens inverse. Au sommet de la montagne, l'air est emporté rapidement du sud-ouest au nord-est, tandis que, sur les parties basses de l'île, le vent alizé souffle toujours avec sa régularité habituelle [2]. La zone de nuées qu'il déroule en un voile immense au-dessus de la mer et des rives ne s'étend pas dans la partie du ciel comprise entre les deux vents opposés, mais elle se trouve au contraire à une assez grande profondeur dans la couche aérienne des alizés. Entre le courant d'en haut et celui d'en bas, l'air est calme et pur de nuages. Pendant la saison d'été, les voyageurs qui gravissent les flancs du pic de Teyde peuvent s'attendre avec confiance à trouver un ciel inaltérable, aussitôt après avoir dépassé la zone de nuées de 3 à 400 mètres d'épaisseur, qui se déploie comme une seconde mer au-dessus de l'océan des eaux [3]. Lors des changements de saison, quand les deux vents opposés luttent pour la victoire sur les pentes de la montagne, il suffit parfois de quelques jours pour amener un changement d'un millier de mètres dans la hauteur de la zone intermédiaire. Une bataille s'engage dans le ciel entre les deux courants : tantôt le vent alizé monte jusqu'aux pentes supérieures du pic ; tantôt il est vaincu, chassé des hauteurs de l'atmosphère et déprimé avec tout son système de nuages vers les régions plus basses. C'est principalement

1. Humboldt; Léopold de Buch, *Description des Canaries.*
2. *Philosophical Transactions,* 1859.
3. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Nuages et les Pluies.*

au-dessus du col de Laguna, entre Santa-Cruz et Orotava, que se livre le combat, et par suite, ce district de l'île est fréquemment inondé de pluies. Piazzi Smyth a longuement raconté dans son ouvrage sur Ténériffe ces grandes luttes aériennes[1].

Dans l'océan Pacifique on a pu observer des phénomènes analogues à ceux qui se produisent dans l'Atlantique. Goodrich a constaté que le courant normal des alizés et le vent de retour se font sentir à la fois, l'un sur les rivages des îles Sandwich et sur les pentes inférieures de toutes les montagnes de l'archipel, l'autre sur la cime du volcan Mauna-Loa.

La direction du contre-courant supérieur est, de même que celle des vents alizés, déterminée par le mouvement de rotation de la terre. A son retour de l'équateur, chaque molécule d'air en marche se détourne vers l'orient au lieu de dévier à l'occident, comme dans son voyage de la zone polaire à la zone torride. Après avoir séjourné dans les régions équatoriales, elle parcourt successivement des contrées dont la vitesse autour de l'axe terrestre est moindre que la sienne propre; à mesure qu'elle s'éloigne de la zone des calmes elle se trouve donc en avance sur tous les points sous-jacents de la planète et se change en vent de sud-ouest. Au-dessous d'elle, l'alizé du nord-est glisse généralement en sens inverse; mais, par suite du frottement des particules aériennes, il se forme entre les deux courants atmosphériques une couche d'air



Théorie de Dove. Théorie de Mühry.

Fig. 104.

calme, où se manifestent tous les météores dus au contact des deux masses, inégales en chaleur, en humidité, en tension électrique. D'après Dove, le contre-courant alizé s'infléchirait

1. *Teneriffe*, p. 174, 178, 332, etc.

de plus en plus vers l'est, à cause de la courbure croissante de la terre dans le sens du pôle; d'après Mühry, au contraire, la direction de ce vent serait exactement parallèle à celle du courant inférieur et se recourberait graduellement vers le nord, à cause de l'appel exercé dans les régions polaires par le vent qui descend vers l'équateur. Cette dernière théorie paraît la plus probable; mais c'est à l'observation directe à décider d'une manière définitive [1].

On pourrait croire au premier abord que le contre-courant supérieur se rend jusqu'au pôle en se maintenant dans les hautes régions de l'atmosphère et que, de son côté, le vent polaire, aux molécules rapprochées par le froid, glisse toujours à la surface du globe. C'est par exception qu'il en est ainsi. Dans une région assez indécise qui, pour l'Atlantique du Nord, oscille alternativement, suivant les saisons, du 21e au 35e degré de latitude, le vent de retour commence à descendre des hauteurs du ciel à la surface de la mer et vient se heurter contre les masses aériennes qui affluent du pôle vers les parages brûlants de l'équateur. La zone où se produit ce choc des vents est considérée comme la limite extérieure des vents alizés; mais c'est à tort qu'on lui donne le nom de zone des calmes tropicaux, car si l'équilibre complet de l'atmosphère y est plus fréquent que dans les régions limitrophes du Nord et du Sud, cependant les calmes n'y durent guère que pendant un jour sur deux ou trois semaines [2]. Pendant l'été de l'hémisphère boréal, alors que le soleil se trouve au zénith du tropique du Cancer, les contre-alizés peuvent d'ailleurs se faire sentir avec assez de régularité jusque vers la latitude du nord de l'Allemagne ou de Pétersbourg. En automne et enfin en hiver, le domaine de ces courants de retour se rétrécit sans cesse au nord et s'accroît vers le midi; Brest, puis Lisbonne sont ses limites extrêmes dans l'hémisphère septentrional, jusqu'à ce que le soleil reprenne sa marche vers le nord.

Pourquoi le courant supérieur descend-il ainsi du haut

1. *Mittheilungen von Petermann*, IX, 1866.
2. Lartigue; — Maury, *Pilot Charts*.

de l'atmosphère pendant la plus grande partie de l'année? Sans doute parce qu'il porte avec lui d'énormes quantités de vapeur d'eau qui le rendent plus lourd que l'air froid et sec venu des pôles. Grâce à sa température, il s'élève d'abord plus haut que

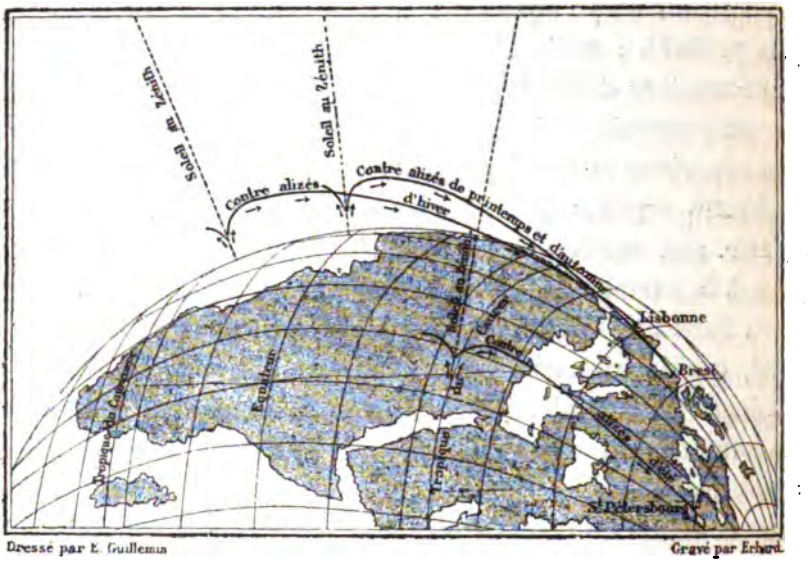


Fig. 105. — Variations des contre-alizés.

les Cordillères, puis, graduellement refroidi, il s'abaisse sous le poids de l'humidité qui le sature, et lorsqu'il entre enfin dans la zone tempérée, il tombe à la surface de la terre avec ses nuages et ses pluies, et lutte pour la suprématie contre le courant polaire. La différence de froid spécifique entre les masses d'air opposées doit être très-minime, puisque les uns et les autres l'emportent tour à tour. Souvent le courant venu de la zone torride, reconnaissable d'en bas à ses traînées de *cirri*, ne peut atteindre la surface du sol et se maintient jusqu'au pôle dans les couches supérieures de l'atmosphère, tandis que le vent qui souffle de la zone glaciale forme un courant continu sur la rondeur du globe, du pôle à l'équateur; toutefois il faut considérer le vent du sud-ouest comme le vent dominant de la zone tempérée du nord, car il s'y fait sentir beaucoup plus fréquemment que le courant contraire, la proportion étant de près du double pour le premier entre

le 50e et le 55e degré de latitude [1]. On sait que les navires à voiles mettaient autrefois quarante-six jours, en moyenne, pour se rendre d'Europe aux États-Unis, tandis que le voyage de retour, facilité d'ailleurs par la marche du Gulf-stream [2], s'accomplissait en vingt-trois jours; les vents du sud-ouest et de l'ouest, qui ne sont autre chose que le contre-courant des alizés, soufflent avec tant de régularité dans ces parages, qu'on a pu donner le nom de « voyage de montée » aux traversées d'Europe en Amérique, et de « voyage de descente » aux courses qui s'opèrent en sens inverse. Des phénomènes correspondants se produisent dans l'hémisphère du sud : là, ce sont les vents du nord-ouest qui soufflent le plus fréquemment au delà des limites méridionales des alizés.

Ainsi les deux vents permanents qui sont aspirés vers l'équateur par la dilatation de l'air chaud ont chacun leur domaine propre, borné intérieurement par les calmes de la ligne équinoxiale, extérieurement par les vents irréguliers de la zone tempérée; toutefois ces limites oscillant incessamment de mois en mois et de saison en saison, on ne peut les indiquer d'une manière précise. Sur une carte générale des vents alizés, il suffit donc de tracer les frontières extrêmes de ces courants pour l'hiver et pour l'été [3]. En moyenne, l'espace sur lequel souffle le vent du nord-est dans l'Atlantique embrasse de 18 à 20 degrés de latitude, soit de 2,000 à 2,200 kilomètres en largeur; dans le Pacifique méridional, le domaine de l'alizé du sud-est ne serait pas moindre de 30 degrés ou 3,300 kilomètres [4].

Entre les courants atmosphériques et les courants océaniques l'analogie est évidente. Le fleuve maritime qui se forme à la jonction des masses d'eau venues des deux mers polaires correspond à la zone équinoxiale, où se rencontrent les vents alizés du nord-est et du sud-est. Obligées de s'étendre latéralement, en se maintenant sous le niveau commun du

1. Maury, *Pilot Charts.*
2. Voir, ci-dessus, p. 89.
3. Voir, ci-dessous, la figure 106.
4. Kerhallet, *Considérations générales sur l'océan Pacifique.*

réservoir maritime qui les contient, les eaux tièdes du courant équatorial s'écoulent ensuite vers le nord-est, parallèlement au contre-courant des alizés, qui s'est élevé dans les hauteurs de l'atmosphère. Sous l'influence des mêmes causes, les deux océans de l'air et de l'eau se meuvent dans la même direction et leurs mouvements subissent les mêmes oscillations vers le nord ou vers le sud, pendant chaque période alternante des saisons. En été, lorsque le Gulf-stream se prolonge au loin dans les mers boréales, le double système des alizés et des contre-alizés du nord s'avance de plusieurs degrés dans la zone tempérée, tandis que, pendant l'hiver, il reflue de nouveau vers le tropique du Cancer, suivi par le Gulf-stream, qui se reploie graduellement vers le sud. La ressemblance serait complète si l'eau était comme l'air un fluide élastique et compressible, et ne se trouvait pas enfermée dans un bassin dont elle ne peut franchir les bords. La différence des milieux explique la différence des courants que la chaleur du soleil et la rotation terrestre produisent dans l'Océan et dans l'atmosphère.

VI.

Les alizés des continents. — Les moussons. — Vents étésiens.

Les vents alizés, nous l'avons dit, n'ont point sur les continents la même régularité que sur les mers. A la surface de l'Océan, les masses d'air mouvantes ne sont arrêtées par aucun obstacle; elles se propagent librement vers la zone équatoriale, et ne peuvent guère être détournées de leur route par l'appel de quelque foyer maritime de chaleur, car la température de l'eau ne s'accroît ou ne diminue que lentement, et du jour à la nuit les oscillations du thermomètre n'atteignent point 2 degrés centigrades. Au milieu des grandes îles et des

continents, il n'en est plus ainsi. Là, des chaînes de montagnes se dressent en travers de la marche des vents et les font changer de direction; les forêts, les prairies, les nappes d'eau méditerranéennes, les plateaux aux longues pentes, les pays de collines, les grandes plaines et les innombrables accidents du relief topographique sont diversement échauffés par le soleil, et par cela même détournent ou repoussent le vent qui souffle des mers avoisinantes. Dans les hauteurs de l'espace, le courant peut, il est vrai, continuer son mouvement normal au-dessus des plateaux et des montagnes; mais, au-dessous, les régions inégales de la surface sont parcourues par des vents irréguliers. Tantôt la bande des calmes équatoriaux y est complétement oblitérée, tantôt elle est élargie d'une manière anormale; les vents se reploient diversement de côté ou d'autre pour se diriger vers la contrée dont l'air est le plus dilaté par les rayons du soleil. D'ailleurs, il faut le dire, on n'a fait encore, dans la plupart des pays tropicaux, qu'un nombre bien insuffisant d'observations météorologiques.

Cependant on ne saurait douter que les alizés ne soufflent sur de vastes étendues continentales aussi bien qu'à la surface des mers. En effet, le manque de pluie et l'absence presque complète de végétation dans toute cette partie de l'Afrique connue sous le nom de désert de Sahara prouvent d'une manière indubitable l'existence d'un vent régulier du nord-est. Après avoir passé sur les hauts plateaux de l'Asie et s'être déchargé de la plus grande partie de sa vapeur d'eau, ce courant atmosphérique traverse obliquement toute l'Afrique, des bords du Nil à ceux du Niger; sur cet énorme parcours de 2,700 kilomètres, il ne laisse tomber de pluies qu'au sommet des monts, tels que le Djebel-Hoggar, et parsème à peine d'un seul nuage l'inaltérable azur du ciel. Sur la côte occidentale du Sahara, le vent brûlant que l'on nomme *harmattan* n'est autre chose que l'alizé du nord-est, plus ou moins détourné de sa course à cause du voisinage de la mer. Vers le 17e degré de latitude nord, sur les frontières méridionales du Soudan, des nuages se forment enfin dans l'espace, des pluies abondantes pénètrent le sol, et l'aridité du désert fait place à une

belle végétation; c'est que le domaine des vents permanents se termine là, pour être remplacé par la zone des calmes équatoriaux, au courant ascendant tout chargé de vapeurs aqueuses. Dans la partie méridionale de l'Afrique, les alizés du sud-est se font sentir régulièrement, et, d'après le témoignage de Livingstone, traversent en entier le continent, de l'embouchure du Zambèze au littoral d'Angola. De l'autre côté du bassin de l'Atlantique, les régions tropicales de l'Amérique du Sud sont également rafraîchies par le souffle constant des vents humides du sud-est. Le Brésil, le Paraguay, une grande partie de la république Argentine, de la Bolivie, du Pérou, des Guyanes et de la Colombie, sont compris dans ce domaine météorologique. Le vent alizé, reployé sous l'équateur dans la direction de l'est à l'ouest, remonte d'un souffle égal la vallée de l'Amazone, pénètre dans les gorges des Andes et franchit même, par tous les cols, la haute barrière de montagnes; mais, dominés par cet énorme rempart, les rivages du Pacifique ne subissent point l'influence du vent d'est. Les navires qui cinglent au large ont à parcourir de 200 à 1,000 kilomètres en mer, suivant les parages, avant qu'une bouffée du vent alizé, descendue du sommet des Andes, vienne enfler leurs voiles et les pousser du côté de l'Australie.

Même dans les parties du monde où les vents tropicaux cessent d'être permanents, les oscillations et les déflexions du courant atmosphérique offrent, en général, un caractère de périodicité et s'accomplissent régulièrement, suivant le cours des saisons. Parmi ces vents aux retours uniformes, il faut citer principalement les « moussons » de l'Inde et de l'Arabie. Le nom arabe de ces météores, *maussim* ou *moussim*, signifie changement, saison; c'est qu'en effet ils partagent l'année de la manière la plus rigoureuse en deux périodes complétement distinctes. Durant les grandes chaleurs de l'été, les plateaux arides de l'Asie centrale, et même les campagnes de l'Hindoustan, beaucoup plus fortement échauffées que la mer, agissent comme une immense pompe aspirante; l'air qui repose sur cette partie du continent asiatique se dilate et, par suite, de nouvelles masses aériennes affluent sans cesse de l'océan Indien vers

les contrées du Nord. D'après Dove, le vent alizé du sud-est, entraîné par ce déplacement général des airs, franchirait lui-même l'équateur pour entrer dans l'hémisphère boréal et se transformer graduellement en mousson du sud-ouest, à cause de sa grande vitesse angulaire, acquise sur le renflement équatorial. Toutefois il n'est pas probable qu'il en soit ainsi, car la mousson n'a point la même hauteur verticale que les vents alizés et sa direction n'est point uniformément celle du sud-ouest au nord-est, comme sur les côtes du Malabar; dans la vallée du Scinde et dans celle de l'Irawaddy, elle est franchement méridionale; au fond du golfe de Bengale, à Siam, à l'angle oriental du continent asiatique, cette direction est celle du sud-est au nord-ouest, perpendiculairement aux côtes qui appellent le vent [1].

Saturée de l'humidité qui s'est évaporée de la grande chaudière de la mer des Indes, la mousson inonde de pluies torrentielles les côtes du Malabar, de même que les rivages de la péninsule transgangétique, puis vient se heurter contre les hautes montagnes de l'Himalaya et des autres chaînes qui bordent au midi les plateaux de l'Asie centrale. D'ailleurs elle ne franchit point cette barrière. A ses nuages chargés de pluie qui se déchirent aux escarpements des cimes inférieures, on voit parfaitement que le vent maritime ne dépasse point l'altitude de 1,500 à 2,500 mètres, et qu'au-dessus, une autre couche aérienne se déplace dans les hauteurs. Le mouvement qui entraîne cette couche élevée est le même que celui de la mousson du sud-ouest; mais on reconnaît à ses longues traînées de *cirri*, hautes de 5,000 et de 8,000 mètres, ce grand courant de retour ou contre-alizé, qui plane à la même élévation au-dessus de l'Atlantique, dans la mer des Canaries.

Lorsque le soleil, dans sa course sur l'écliptique, retourne vers le tropique du Capricorne, le foyer d'appel se déplace en même temps dans la direction du sud. La mousson du sud-ouest cesse de se porter vers les grandes péninsules de l'Asie, le vent régulier du nord-est recommence de souffler, et les

1. Mühry, *Zeitschrift für Meteorologie von Carl Jelinek*, n. 21, 1867.

courants d'appel se reploient dans l'hémisphère méridional vers les îles de la Sonde et l'Australie. Grâce à cette alternance régulière, qui fit l'étonnement de l'ancien navigateur grec Hippalos, les marins de l'océan des Indes peuvent compter d'avance sur un vent favorable, qui poussera tour à tour leur navire pour les deux traversées d'aller et de retour; d'ailleurs ils n'ont point à craindre ces calmes prolongés qui sont le fléau de la navigation à voiles dans la zone équatoriale de l'Atlantique et de la mer du Sud. Le mouvement circulatoire ne dépasse en aucun endroit les couches inférieures de l'océan aérien, et l'on peut facilement observer au-dessus des îles de la Sonde et de l'Australie, de même que sur les flancs des montagnes de l'Inde, la marche constante des nuages qu'entraînent les vents alizés réguliers. Un volcan de Java, observé par Junghuhn, en offre un remarquable exemple. De sa cime, haute de 3,000 mètres environ, s'échappe une colonne de vapeurs qui se reploie gracieusement dans l'espace pour se diriger toute l'année vers l'ouest ou le nord-ouest en un long nuage blanchâtre, et c'est précisément en sens inverse que la mousson souffle durant six mois sur les pentes, ainsi qu'à la base de la montagne. De même à Dodabetta, dans les Nilagherri du sud de l'Hindoustan, les deux courants aériens coulent en sens inverse, l'un constant, celui qui passe dans les hauteurs, l'autre, temporaire, celui qui remonte de la mer et des plaines [1].

Les moussons des Indes orientales ne sont pas les seuls vents qui rompent l'uniformité des alizés. Dans toutes les parties de la zone tropicale où les rivages des continents sont disposés parallèlement à l'équateur, les vents alternent régulièrement, à cause de la plus grande raréfaction de l'air qui se produit tantôt sur terre, tantôt sur mer, suivant la marche du soleil. Ainsi, pendant la saison des fortes chaleurs, les côtes africaines qui se prolongent du golfe de Benin au cap des Palmes attirent les moussons du golfe de Guinée. Ces masses d'air, changeant leur direction, se reploient pour souffler vers

1. Mühry, *Ausland*, 6 febv. 1869.

le nord-est et courent rapidement vers la grande fournaise du Sahara, où l'atmosphère suréchauffée est d'ordinaire plus dilatée qu'en tout autre pays du monde. Vers le mois de janvier, alors que le Sahara lui-même est devenu plus froid que les mers équatoriales et les rivages du Congo, le vent alizé du nord-est reprend la prépondérance et traverse toute l'Afrique du Nord en obliquant au sud vers les côtes de la Guinée méridionale. D'abord très-violent, il s'affaiblit bientôt et ne dure guère que deux ou trois semaines pour céder de nouveau l'empire de l'air à la mousson marine. Durant sa courte apparition, le courant venu du désert ne cesse de transporter une pous-

VENTS ALIZÉS ET MOUSSONS DE L'ATLANTIQUE.

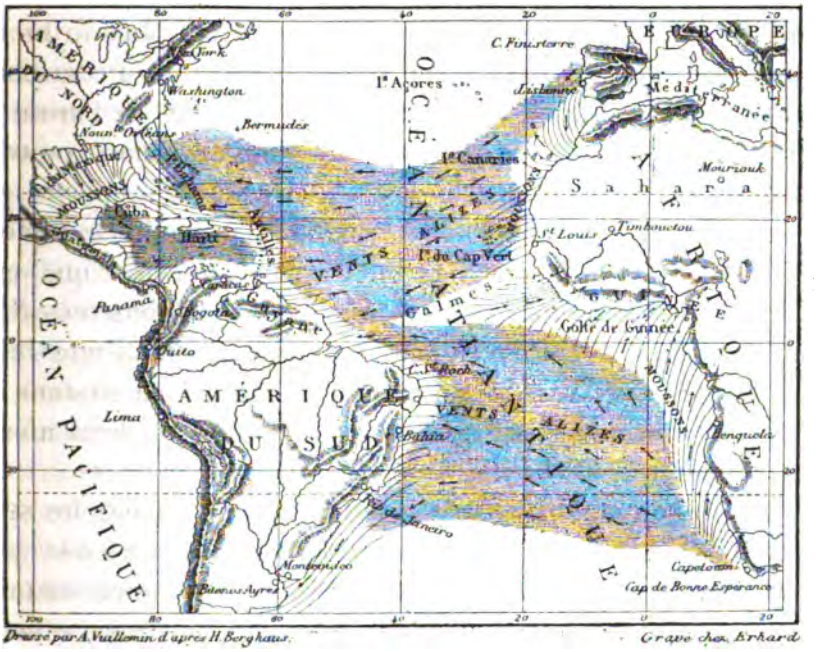


Fig. 106.

sière blanche, ayant l'apparence d'un épais brouillard. C'est le sable du Sahara, qui dans les régions situées immédiatement au nord de la Guinée est presque blanc, tandis que, plus loin, la poussière enlevée du sol par le harmattan est à peu près rousse[1].

1. Borghero, *Bulletin de la Société de Géographie*, juillet 1866.

Sur les côtes du Chili, sur celles de la Californie, dans les îles du Pacifique, autour du golfe du Mexique et de la mer des Antilles, des phénomènes analogues se produisent. En été, la vallée du Mississipi et les plateaux du Texas sont parcourus par de véritables moussons, qui distribuent les pluies sur cette partie du continent, puis sont remplacées à leur tour par ces dangereux vents du nord ou du nord-est (*nortes*), qui sont eux-mêmes des alizés plus ou moins détournés de leur route. De leur côté, les rivages occidentaux du Mexique présentent un phénomène d'alternance tout à fait semblable entre les vents du sud-ouest en été et ceux du nord-est en hiver. Sur les côtes parallèles ou simplement obliques à la marche des alizés, une partie de ces vents n'est point ramenée en arrière comme dans les Indes ou dans la Guinée, mais elle est plus ou moins attirée par le foyer de chaleur en dehors de sa voie régulière. C'est ainsi que sur le littoral du Maroc, et près de l'archipel des Canaries, le vent du nord-est subit une déviation considérable vers le continent africain, et se transforme parfois en vent du nord. De même les plateaux de la Nouvelle-Grenade et les *llanos* du Venezuela détournent le courant normal qui vient de pénétrer dans la mer des Antilles, et l'obligent à souffler perpendiculairement à la côte. Il se produit ainsi une brise périodique (*los brisotes*), qui peut être considérée comme un vent intermédiaire entre la mousson et l'alizé proprement dit.

Les vents de la Méditerranée orientale, auxquels les anciens avaient donné le nom de vents *étésiens* (de *étos*, année), ne sont, eux aussi, autre chose que des moussons. Ce sont des courants atmosphériques attirés du nord vers le continent africain par les puissants foyers d'appel des sables de l'Égypte et du Sahara. Pendant presque tout l'été, les masses aériennes qui reposent sur l'Europe méridionale sont ainsi entraînées du côté de l'Afrique, et même dans les contrées tempérées à vents variables, comme l'Italie, la Provence et l'Espagne, on constate que les courants prédominants sont ceux du nord. Grâce à ce mouvement général des airs, la traversée d'Europe en Afrique s'accomplit, en moyenne, plus rapidement que le voyage de retour : pour les voiliers qui parcourent la Méditerranée entre

la France et l'Algérie, le passage du nord au sud est d'un quart environ moins long que la course en sens inverse. Toute la partie septentrionale des Baléares, et notamment de Minorque, est désolée par un vent du nord qui rabougrit la végétation et fait pencher les arbres dans la direction du sud[1].

VII.

Brises de terre et de mer. — Vents des montagnes. — Brises solaires. — Vents locaux. — Le simoun, le siroco, le fœhn, les tourmentes, le mistral.

Outre les déviations latérales qui s'opèrent deux fois dans l'année, les vents alizés subissent aussi le long des côtes de rapides déviations journalières. Tout le pourtour des continents est bordé, pour ainsi dire, d'une frange de brises produites par la différence de température entre la terre et l'eau. Pendant la journée, les contrées du littoral se réchauffent beaucoup plus rapidement que la surface de l'Océan. Vers dix heures du matin, après une période de calme plus ou moins longue, une rupture d'équilibre s'opère entre les masses aériennes, et l'atmosphère plus fraîche reposant sur les eaux se porte vers la terre pour y remplacer l'air dilaté qui s'élève dans les régions supérieures. Peu à peu ce mouvement de translation, qui d'abord se faisait sentir seulement dans le voisinage de la côte, se communique à toutes les couches atmosphériques en avant et en arrière, et bientôt la brise, ébranlant de proche en proche tout l'océan des airs, occupe un assez large espace au-dessus de la mer et du continent, qu'il unit comme une plaque de fer unit les deux branches d'un aimant. Durant la nuit, le sol perd par le rayonnement une grande partie de la chaleur qu'il avait reçue, tandis que la mer conserve à peu près la température de la journée. L'équilibre se rompt encore une fois,

1. Marié-Davy, *les Mouvements de l'atmosphère et des mers.*

mais c'est maintenant au profit de la mer; la brise est ramenée en arrière et souffle en sens inverse. C'est ainsi que dans l'espace de vingt-quatre heures la brise oscille de la terre à la mer et de la mer à la terre par un mouvement de flux et de reflux analogue à celui des marées. Dans les contrées de la Plata, ces souffles alternatifs de terre et de mer offrent une telle régularité qu'ils ont reçu le nom de *virazones* (girations). Autour d'Otahiti, ils se succèdent également avec tant de ponctualité, qu'un navire pourrait, en plusieurs nuits consécutives, faire le tour complet de l'île, et toujours vent arrière.

Ces brises, que l'on pourrait appeler aussi des moussons journalières, coexistent avec le mouvement des vents alizés, et sont, en conséquence, entraînées dans le circuit général. Au lieu d'être perpendiculaires à la côte, elles forment le plus souvent avec elle un angle aigu; elles soufflent de biais, ainsi que le disait le marin Dampier. Du reste, ce n'est pas seulement dans le domaine des vents alizés ou sur le pourtour des océans que se produisent les brises côtières; elles soufflent partout où il existe une différence de température considérable entre la terre et une nappe liquide, partout où l'air frais de la mer ou d'un lac va remplir les vides laissés sur le littoral par un courant ascendant d'air chaud. On en voit un exemple remarquable dans l'étroite mer Adriatique. Là, pendant chaque belle journée, la brise se lève au milieu du golfe et se dirige à la fois en deux directions contraires, d'un côté vers les rivages de l'Italie, de l'autre vers les îles et les montagnes de l'Istrie et de la Dalmatie. Pendant la nuit, l'hémicycle des côtes qui entoure les eaux de l'Adriatique renvoie vers la mer, comme vers un foyer commun, l'air frais qu'il a reçu : aux courants divergents de la journée succède un flot de brises convergentes.

Les montagnes ont aussi leur système propre de brises alternant avec une régularité semblable à celle de la brise de terre et de la brise de mer sur les côtes de l'Océan. Le jour, surtout en été, lorsque les cimes des monts sont exposées à toute l'intensité des rayons solaires et reçoivent une quantité de chaleur considérable qui rapproche leur température de celle des vallées, l'air reposant sur les sommets se dilate et

s'élève. En même temps l'air des plaines qui s'étendent au pied des montagnes est lui-même dilaté dans de plus fortes proportions, de sorte qu'un courant ascendant se produit de la base au sommet des pics, dans toutes les vallées et sur tous les escarpements. Les couches atmosphériques de la plaine s'ébranlent et se dirigent vers les hauteurs avec d'autant plus d'impétuosité que les cimes ont été plus fortement chauffées par le soleil. Dans certaines vallées, notamment dans celle de la Stura et des autres rivières alpines qui vont arroser les campagnes du Piémont, le vent ascendant a tellement de force que la plupart des arbres sont uniformément inclinés dans le sens des montagnes. Des pollens, des restes de plantes, des insectes, des papillons sont emportés par le courant d'air et vont souiller de leurs débris la vaste blancheur des neiges. La nuit, des phénomènes d'un ordre inverse se produisent, mais avec moins d'intensité; les hautes montagnes, dont les pointes se dardent dans le ciel, perdent leur chaleur par le rayonnement nocturne plus rapidement que les vallées, les nappes d'air qui les entourent se refroidissent et redescendent en partie vers les campagnes d'où elles étaient montées quelques heures auparavant. Il s'établit ainsi un échange entre les deux zones, un flux et un reflux, une marée atmosphérique ascendante et descendante, réglée dans son intensité par les variations de la température : c'est encore, comme pour les brises côtières, le mouvement de roue signalé par Dove.

Comme exemple de ces brises, appelées dans les Alpes françaises *pontias, rebats, aloups du vent,* on peut citer les trois fleuves aériens qui roulent incessamment dans les vallées de la Savoie, à moins que le système local des courants atmosphériques ne soit modifié par les tempêtes. Ces trois fleuves d'air sont ceux du Faucigny, de la Tarentaise et de la Maurienne. Le premier parcourt la vallée de l'Arve, de Genève au mont Blanc; la deuxième se meut dans les vallées de l'Isère et de son affluent, le Doron; le troisième remonte et descend alternativement toute la vallée de l'Arc vers le mont Cenis et le col de l'Iseran. D'ordinaire, le vent ascendant commence vers dix heures du matin dans les vallées de la Savoie, et le courant

descendant reflue vers les plaines à partir de 9 heures du soir; en certains endroits on l'appelle *matinière*, parce qu'il se fait surtout sentir avant le lever du soleil. M. Fournet, qui a longtemps étudié ces phénomènes de marées atmosphériques, a constaté que le passage du flux au reflux est surtout rapide dans les défilés étroits, tandis que, dans les larges bassins, l'alternance se produit après une série d'oscillations aériennes et de bouffées de vent en sens inverse. Chaque vallée doit à sa forme particulière un régime atmosphérique particulier : dans l'une, les brises successives sont lentes, indécises d'allures; dans l'autre, elles alternent brusquement, avec violence, et produisent, en l'espace de quelques heures, des variations de température de 20, de 25 et même de 30 degrés. En général, les brises sont régulières dans les vallées régulières, et ne présentent de particularités remarquables qu'à leur issue dans la plaine ou bien au confluent de deux gorges. Parmi ces vents aux curieuses allures, on cite une brise du bassin rhénan, connue sous le nom de *Wisper-wind*. Sortant, en amont de Lorch, de l'étroite vallée de la Wisper, remplie de bois et très-bien située pour subir dans ses diverses parties tous les extrêmes de température, cette brise souffle en général jusqu'à 8, 9 ou 10 heures du matin, puis traverse le Rhin, frappe contre les rochers de la rive gauche et se divise en deux courants, dont l'un remonte au sud, vers Bingen, en s'accroissant en route de plusieurs petits vents tributaires, tandis que l'autre, plus faible, descend au nord vers Bacharach.

Même dans les plaines et dans les contrées faiblement accidentées, des brises journalières doivent se succéder régulièrement à cause des différences locales de chaleur et de froid que produit la marche du soleil. Le matin, dès que l'astre se lève, la température, qui était tombée au plus bas, à cause de l'évaporation nocturne, s'accroît, l'air se dilate et s'épanche vers les espaces plus froids qui s'étendent du côté de l'ouest; il en résulte un petit vent d'est, qui devient graduellement vent du sud-est, à mesure que le soleil monte au-dessus de l'horizon. Quand l'astre est au midi, l'air dilaté s'épanche dans la direction du nord; enfin, vers le soir, c'est du côté de l'est,

où les couches aériennes se refroidissent, que se dirige le trop-plein de l'air encore échauffé par les rayons solaires. Ainsi, lorsque l'atmosphère n'est pas agitée par un vent général, il doit se produire une brise tournant régulièrement autour de l'horizon dans le même sens que le soleil. Dans l'hémisphère boréal, ce mouvement de giration s'accomplit de l'est à l'ouest par le sud; dans l'hémisphère opposé, c'est par le nord que cette brise diurne opère sa révolution graduelle de l'est à l'ouest. Dans les montagnes, le phénomène est plus complexe à cause des brises d'amont et des brises d'aval qui s'entremêlent aux brises tournantes. On remarque cependant que la plupart des vents locaux déterminés par la différence des températures se portent vers l'ouest dans la matinée, puis tournent graduellement en sens inverse du soleil et soufflent dans la direction de l'est lorsque l'astre s'incline vers le couchant. Ce sont les *solaures* (*solis aura*) ou vents solaires du département de la Drôme [1].

Quant aux vents locaux qui caractérisent certaines régions, ils ont tous leur origine première dans l'inégale répartition de la chaleur. Tels sont le *pampero* de la république Argentine et le *chamsin* de l'Égypte, tel est surtout le courant aérien auquel on donne dans le Sahara le nom de *simoun* ou « d'empoisonné ». Dès que ce vent commence à souffler, le voyageur haletant respire avec peine; l'air est brûlant et desséché comme s'il était lancé par la gueule d'un four; la chaleur, accrue par le rayonnement des innombrables grains de sable qui flottent dans l'atmosphère, s'élève rapidement à 45, 50 et même 56 degrés; le soleil se voile, tous les objets prennent une teinte violette ou d'un rouge sombre; la poussière emplit l'espace. Pour ne pas être étouffés par cet air irrespirable, les hommes s'enveloppent la figure de leurs vêtements et les chameaux enfouissent leurs cous dans le sable. D'ailleurs il n'arrive pas toujours que des trombes de poussière s'élèvent alors en tourbillonnant dans le ciel. Palgrave, qui eut à souffrir d'un violent simoun dans un désert d'Arabie, ne vit sur le ciel ni

1. Fournet, *Hydrologie du Rhône.*

nuage de sable ni de vapeur et ne put s'expliquer les ténèbres qui avaient soudainement envahi l'atmosphère [1].

En Sicile et dans le sud de l'Italie souffle parfois un vent chaud du midi que l'on considère comme une sorte de simoun et qui se sature d'humidité en passant par la Méditerranée : c'est le *siroco*. D'ordinaire il est peu rapide, et ses bouffées sont interrompues de calmes étouffants ; la surface de l'eau est à peine agitée, une brume de vapeurs pèse sur l'horizon, le soleil se cache derrière un voile de nuées blanchâtres. Sous l'influence énervante de ce souffle du midi, tout travail devient pénible; cependant on n'a jamais à craindre les phénomènes redoutables qui se produisent pendant le simoun.

Dans les Alpes de la Suisse, le vent du midi est connu sous le nom de *fœhn*, mot dérivé de *favonius*, le vent méridional des Romains. Quelle est l'origine de ce courant? A-t-il pris naissance dans le Sahara, ainsi que le pensent MM. Desor, Martins, Escher de la Linth, et son souffle brûlant a-t-il servi jadis à fondre les anciens glaciers des Alpes? Est-ce tout simplement le contre-alizé descendu des hauteurs de l'atmosphère, et provient-il de l'Atlantique et de la mer des Caraïbes, comme l'affirme Dove? L'humidité qu'il apporte n'aurait-elle pu servir ainsi qu'à rendre plus puissants les grands fleuves de glace? Le dernier cas semble probable : quoi qu'il en soit, le fœhn change souvent dans son cours, et qu'il continue ou non le siroco méditerranéen, les inégalités du relief des montagnes en modifient singulièrement le caractère. En s'élevant sur les pentes, l'air se dilate de plus en plus à cause de la moindre pression atmosphérique, et par suite il perd une grande quantité de chaleur; de vent chaud qu'il était à la base de la montagne, le fœhn devient un courant froid. Une fois l'arête traversée, la masse aérienne qui redescend vers les plaines est comprimée graduellement par les couches supérieures, et la quantité de calorique qui avait disparu à cause de la dilatation se reproduit de nouveau : le vent froid de la cime se réchauffe pour souffler dans les vallées. C'est là un phénomène remar-

1. *Une Année de voyage dans l'Arabie centrale*, 2 vol. traduits par M. Jonveaux.

quable sur les montagnes qui séparent le Valais du Piémont et de la Lombardie. Très-chaud à l'entrée des gorges italiennes des Alpes, le courant atmosphérique du sud se refroidit de 20 à 30 degrés, en passant sur le mont Rose; il laisse tomber des pluies et des neiges en abondance, puis, après être redescendu sur les pentes opposées et s'y être condensé de nouveau, il apporte aux paysans de la Suisse quelque chose du climat brûlant des tropiques [1]. Les tempêtes de la Sibérie occidentale, ces *bouranes* qui soulèvent devant eux les neiges, le sable et les débris de végétation, sont aussi des vents chauds appelés des régions équatoriales.

Quant aux tourmentes si redoutables qui surprennent parfois le voyageur sur les hautes montagnes ou dans les plaines neigeuses, elles peuvent être déterminées par les vents les plus divers, soufflant de l'un ou de l'autre point de l'horizon. C'est chose terrible que d'être assailli par l'un de ces météores. Les masses blanches emportées par rafales cachent tous les objets environnants. Les malheureux perdus dans cet orage ne voient plus ni les pentes voisines, ni le ciel au-dessus de leurs têtes, ni même le sentier sous leurs pas; assourdis par le bruit de la tempête, aveuglés par les nuages poudreux qui leur fouettent le visage, glacés par la neige qui s'attache en stalactites à leur chevelure et change leurs vêtements en masses roides et pesantes, les voyageurs s'égarent bientôt et s'affaissent stupéfiés par le froid. Des centaines de cadavres d'hommes et de chevaux tombés çà et là sur certains cols du Karakorum et de l'Himalaya rappellent les terribles tourmentes de neige qui ont sévi sur ces montagnes. Les accidents du même genre sont également très-nombreux sur les plateaux des Andes du Chili, de la Bolivie, du Pérou. Quand on est loin d'un lieu d'abri et que le *paramo* « se met en fureur » (*se pone bravo*), suivant l'expression des montagnards de la Colombie, toute chance de salut est perdue et les caravanes sont bientôt ensevelies sous la neige. Même dans les Pyrénées et les Alpes, dont les cols les plus fréquentés sont pourvus d'hospices où peuvent

1. Helmholz, *la Glace et les Glaciers*.

se réfugier les voyageurs surpris par les tourbillons de neige, plusieurs malheureux périssent chaque année.

Les contrées du midi de la France ont aussi à subir les effets d'un vent qui est un véritable fléau : c'est le vent du nord-ouest, auquel l'imagination populaire a donné le nom de « maître » (*mistral, magistraou, maestrale*). Il est causé, comme les vents alternatifs des montagnes, par la juxtaposition de deux surfaces inégalement échauffées. Ce courant aérien est malheureusement bien nommé, car sa vitesse, parfois comparable à celle des ouragans, suffit pour déraciner les arbres et raser les murailles. « Le *melamboreas*, dit Strabon, est un vent impétueux et terrible qui déplace des rochers, précipite les hommes du haut de leurs chars et les dépouille de leurs vêtements et de leurs armes. » Les Gaulois de la vallée du Rhône voyaient en lui leur dieu le plus effrayant; ils lui dressaient des autels et lui offraient des sacrifices; les Cimbres, qu'attiraient pourtant les riches campagnes du littoral, s'enfuirent devant le terrible ennemi comme devant une armée; les Provençaux le considéraient, avec la Durance et le Parlement, comme une de leurs trois grandes calamités. Ce vent se fait surtout sentir en hiver et au printemps, quand les Cévennes, couvertes de neige, sont devenues relativement très-froides, et que les plages marines continuent d'être échauffées journellement par les rayons du soleil; alors les masses d'air roulent en torrents du haut des montagnes pour remplacer le courant ascendant d'atmosphère dilatée qui se forme au-dessus de la région du littoral. La nuit, il est vrai, les terres basses situées au pied des monts perdent de leur chaleur par le rayonnement, et l'afflux de l'air froid diminue, mais pour recommencer le lendemain lorsque le soleil réchauffe de nouveau l'atmosphère des plaines. En été, la différence de température est moins grande entre les plages et les arides escarpements des Cévennes; aussi le mistral est moins fort durant cette saison, ou même cesse complétement. En diverses parties du littoral de l'Espagne, de l'Italie, de la Grèce et de l'Asie Mineure, des vents du même genre, connus sous d'autres noms, se précipitent aussi du sommet des montagnes riveraines.

VIII.

Zone des vents variables. — Lutte des vents opposés. — Direction moyenne des courants atmosphériques. — Loi de giration.

En dehors des limites changeantes où soufflent les alizés des deux hémisphères commencent les zones des vents variables. Là, les masses d'air s'écoulent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, et d'une façon très-irrégulière en apparence; parfois un seul vent se dirige incessamment pendant des semaines entières vers un point de l'horizon; parfois les courants atmosphériques qui se succèdent font en quelques heures le tour du compas; en d'autres temps encore, l'air reste calme entre deux régions météorologiques où les vents se déplacent en sens inverse. Aussi le mot de *girouette* est-il devenu synonyme de tout ce qui est instable et versatile.

Ce qui contribue à ce désordre des airs en Europe et dans les autres terres qui se trouvent en dehors de la zone des alizés, ce sont les protubérances du relief continental. Les courants généraux qui passent au-dessus d'une chaîne de montagnes n'y soufflent point avec la même régularité que dans la plaine. En effet, les vents doivent être d'autant plus inégaux dans leurs bouffées successives, que la surface sur laquelle ils glissent est moins unie. La même nappe aérienne qui se meut au-dessus des mers avec l'uniformité d'un fleuve immense se départ de son allure régulière dès qu'elle est interrompue dans son cours par les inégalités du sol. Au pied des grandes montagnes de la Suisse, et notamment aux environs de Genève, où le relief terrestre est déjà très-accidenté, les alternatives qui se produisent dans la force du vent sont telles, que l'anémomètre indique parfois une variation d'intensité du simple au triple. Dans les hautes gorges des Alpes, il arrive souvent, même durant les plus violentes tempêtes, que l'atmo-

sphère présente par intervalles le calme le plus parfait. A toutes les fureurs des airs déchaînés succèdent pour un instant le silence et le repos, puis l'ouragan recommence à souffler avec fracas. C'est que les courants atmosphériques, semblables en cela aux fleuves de l'Océan, ne se dirigent pas invariablement vers le même point de l'horizon et se déplacent par oscillations successives, tantôt à droite, tantôt à gauche, de l'axe de leur mouvement. Par conséquent, lorsqu'on se trouve placé dans les montagnes sur un point que dominent des cimes plus hautes, on doit, suivant les diverses directions que prend le courant aérien, être tour à tour exposé à la furie de la tempête et protégé par quelque grand sommet sur lequel vient se briser le vent [1]. Même dans les pays faiblement accidentés ou même dans les plaines parsemées de maisons et de bosquets, le vent ne progresse point d'un souffle égal comme l'alizé des mers; il avance par une succession de bouffées et de rafales, dont chacune représente une victoire du courant atmosphérique sur un obstacle de la plaine. Au ras du sol, le vent est intermittent, tandis que, dans les hauteurs de l'air, il marche presque toujours d'un mouvement égal et majestueux comme le courant d'un fleuve.

Les brusques rafales des couches inférieures de l'Océan ne sont donc que des phénomènes secondaires, et dans toutes ces soudaines péripéties des vents, que l'on croirait volontiers s'opérer au hasard, le désordre est plus apparent que réel. Bien que le souffle se fasse tour à tour sentir de chaque partie de l'horizon, cependant il existe seulement deux courants atmosphériques dans chacune des zones tempérées : celui qui vient du pôle pour aller remplacer l'air dilaté des régions tropicales, et celui qui reflue de l'équateur après s'être élevé dans les hauteurs de l'espace au-dessus de la couche des vents alizés. Dans l'hémisphère septentrional, ces deux masses aériennes partent l'une du nord, l'autre du sud; mais, par suite du mouvement de rotation de la terre, leur direction se transforme peu à peu comme celle des alizés : le vent du nord

1. H. de Saussure, *Voyages dans les Alpes.*

se change en vent du nord-est, tandis que le vent du sud finit par souffler du sud-ouest. Ainsi que le fait remarquer Dove, la plupart des courants aériens trompent l'observateur, parce qu'ils ne viennent pas des régions d'où ils paraissent souffler. Le vent du nord-est est, en réalité, bien plus le vent du nord que la masse d'air dont la direction est franchement méridionale; de même, le vent du sud-ouest est bien le véritable vent du sud, et celui qui semble venir du sud a le sud-est pour point de départ.

Deux grands courants aériens se disputent donc l'étendue de chaque hémisphère terrestre, du pôle à l'un des tropiques. D'ordinaire tout cet espace est partagé en vastes bandes obliques composées de masses d'air coulant en sens inverse, les unes du pôle, les autres des régions équatoriales. Ces bandes se déplacent sur la rondeur du globe, et dans le même espace, c'est tantôt le vent polaire, tantôt le vent tropical qui domine; mais il ne manque jamais de s'opérer une compensation entre ces courants atmosphériques, et le vent neutralisé ou repoussé dans une partie de l'hémisphère ne tarde pas à se faire sentir sur un autre point. Tant que la lutte existe entre les deux masses d'air animées de mouvements contraires, les vicissitudes du conflit et la prépondérance graduelle de l'un des vents ont pour résultat de modifier pendant des heures ou des jours la marche des airs et de faire tourner successivement la girouette vers les divers points de l'horizon : c'est de la rencontre de deux vents réguliers que provient l'irrégularité apparente de tout le système atmosphérique. La lutte s'engage tantôt sur un point, tantôt sur un autre, entre les deux fleuves aériens, et l'un d'eux finit par l'emporter après une période de résistance plus ou moins longue.

Au-dessus de l'Océan, les courants atmosphériques venus de l'équateur s'infléchissent naturellement vers l'est, et par suite la plupart des vents qui soufflent sur les rivages occidentaux proviennent de l'ouest. C'est ainsi que dans la Californie et l'Orégon les vents dominants sont ceux du sud-ouest; seulement ils sont obligés de se replier peu à peu vers le nord à cause de la direction générale des chaînes de montagnes du lit-

toral, et même dans la partie méridionale d'Alaska ils semblent souffler de l'est. Sur les côtes atlantiques de la France, le rapport entre les courants aériens qui s'équilibrent autour du vent d'ouest et ceux qui soufflent des points de l'horizon directe-

DIRECTION GÉNÉRALE DES VENTS EN FRANCE ; D'APRÈS DE GASPARIN.

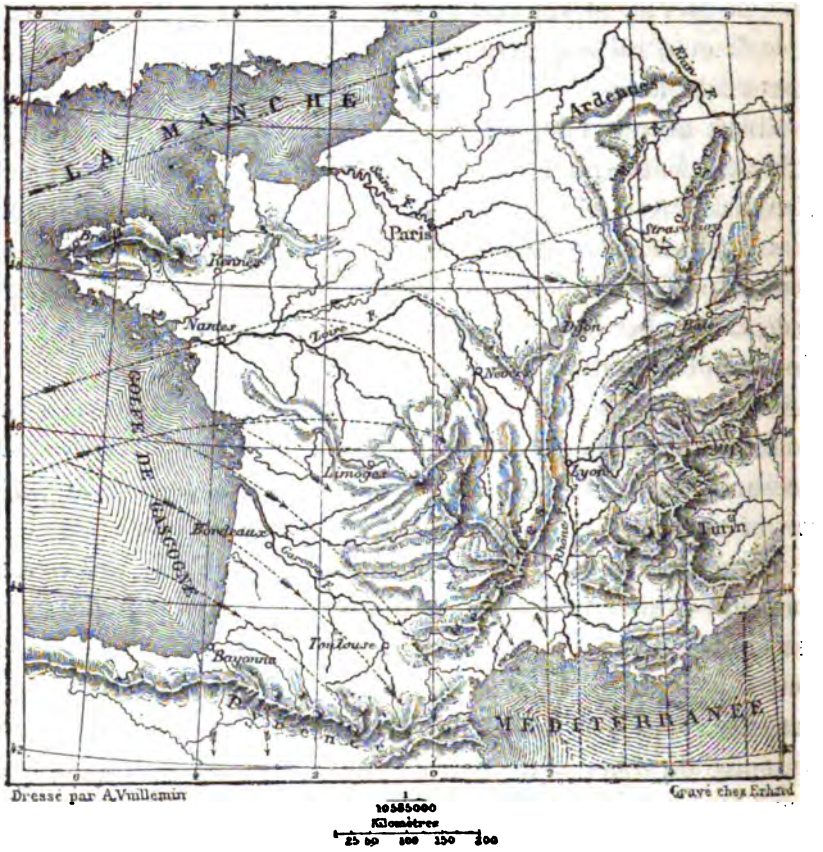


Fig. 107.

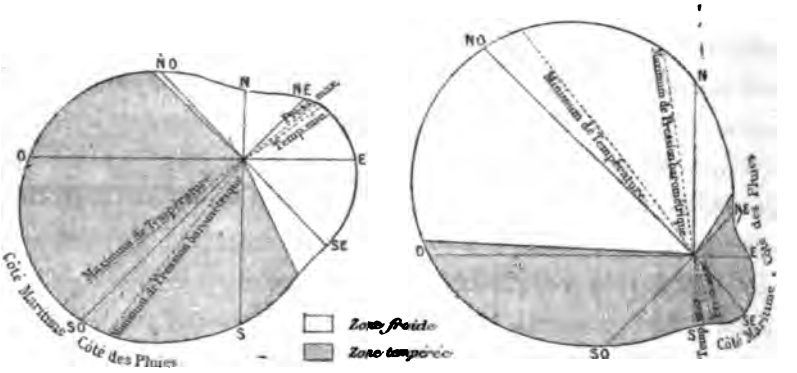
ment contraires est d'environ 3 à 2. La proportion serait encore bien plus favorable aux premiers, si la chaîne des Pyrénées, dressée comme une haute barrière au sud de la France, ne modifiait pas la direction des courants atmosphériques et ne les forçait pas à faire un détour par le golfe de Biscaye pour se replier vers l'est. A Cherbourg, en pleine Manche, la différence entre les vents de l'ouest et ceux de l'est est beaucoup

plus forte; d'après M. Liais, elle est de 7 à 3. Dans la vallée de la Saône et du Rhône, le mouvement général des vents est du nord au sud, parce que l'air est obligé de plonger dans l'espèce d'entonnoir formé par les Vosges, le Jura et les Alpes à l'est, les hauteurs de la Côte-d'Or, du Beaujolais, des Cévennes à l'ouest. Il en est de même dans chaque vallée secondaire; ainsi les Valaisans ne connaissent guère que les vents de l'est et de l'ouest; dans la haute vallée du Rhône, les seuls qui se fassent sentir sont ceux du nord et du sud[1]. D'après Kämtz, la direction moyenne du vent, dans toute la France, est de S. 88° O., c'est-à-dire que la résultante de tous les courants partirait d'un point de l'horizon situé exactement à 2 degrés au sud de l'ouest. Cette direction du vent explique parfaitement pourquoi les grandes villes de France et les pays voisins tendent, en général, à s'accroître du côté de l'ouest : elles cherchent à respirer l'air pur. C'est pour cela que les riches habitants des grandes cités émigrent, de génération en génération, vers les parties de la banlieue qui regardent le soleil couchant. Paris, Londres, Berlin, Lisbonne bâtissent toujours du côté de l'ouest leurs faubourgs de villas et de palais.

Tandis que sur l'Océan et sur les côtes occidentales des continents, le courant équatorial, transformé en vent du sud-ouest, a le plus souvent la prépondérance, en revanche le courant polaire est le plus fort sur les côtes orientales et dans l'intérieur des continents. C'est là ce qu'a récemment démontré par la comparaison de milliers d'observations le météorologiste Hann[2]. Dans les contrées de la mer Baltique, les vents du sud réunis, qui représentent le courant équatorial, soufflent deux fois plus fréquemment que les vents du nord; sur les rivages orientaux de l'Asie et de l'Amérique, c'est exactement le contraire, les vents du pôle dépassent deux fois en nombre ceux qui viennent du midi. En outre, ils sont bien plus forts en intensité et se changent en tempêtes plus souvent que les courants aériens du sud. Hann explique ce contraste météorolo-

1. Tschudi, *le Monde des Alpes*.
2. *Untersuchungen über die Winde der nördlichen Hemisphäre...*

gique par les différences de température et d'humidité qui existent entre les espaces océaniques et les masses continentales. Naturellement les vents du sud trouvent le chemin plus ouvert au-dessus des eaux tièdes de l'Atlantique du Nord et du Pacifique boréal, tandis que les courants polaires s'épanchent plus facilement au-dessus des plaines froides de la Nouvelle-Bretagne et de la Sibérie. La déviation que ces deux courants contraires éprouvent par suite de la rotation du globe a pour



Côtes Occidentales — Côtes Orientales

d'après Hann

Fig. 108.

conséquence nécessaire de faire participer les côtes occidentales des continents au régime aérien des océans, et de donner celui des plaines de l'intérieur aux côtes orientales. Seulement, à cause de la disposition des continents, les vents polaires qui soufflent du nord-est dans l'Europe occidentale et du nord en Sibérie proviennent surtout du nord-ouest sur les bords de la mer d'Ochotzk et au Canada. Les observations faites sur les hauteurs moyennes du baromètre et du thermomètre, qui sont toujours en sens inverse dans les vents chauds et les vents froids, s'accordent parfaitement avec l'observation du système des vents.

Un fait remarquable est que les vents du sud-ouest augmentent d'intensité à mesure qu'ils se rapprochent du pôle, tandis que les vents du nord-est diminuent graduellement en force en se dirigeant vers l'équateur. Ce phénomène est facile à comprendre. L'espace que parcourent les masses d'air venues

du midi se rétrécit peu à peu dans la direction du pôle, et, par conséquent, l'écoulement de tout le fleuve aérien ne peut s'opérer que grâce à un accroissement de vitesse. De leur côté, les vents polaires traversent des latitudes où l'espace s'ouvre de plus en plus large devant eux, et leur souffle se ralentit graduellement jusqu'à la zone tropicale, où il devient le courant pacifique et régulier des alizés.

Depuis des siècles déjà, les savants avaient constaté que dans l'hémisphère septentrional la succession des vents s'accomplit d'une manière normale dans le sens du sud-ouest au nord-est par l'ouest et le nord, et du nord-est au sud-ouest par l'est et le sud : c'est un mouvement de rotation analogue à celui que le soleil semble décrire dans le ciel, lorsque après s'être levé à l'orient il se dirige vers l'occident en développant sa vaste courbe autour du zénith. Aristote avait fait cette observation il y a plus de deux mille ans : « Lorsqu'un vent vient à cesser pour faire place à un autre vent d'une direction voisine, dit-il dans sa *Météorologie*, le changement a lieu suivant la marche du soleil. » Depuis l'époque du grand naturaliste grec, plusieurs auteurs, que Dove a pris le soin d'énumérer, ont affirmé de nouveau ce fait de la rotation régulière des vents, qui du reste était de temps immémorial parfaitement connu des marins :

Lorsque le vent contre le soleil tourne,
Ne t'y fie pas, car bientôt il retourne [1].

dit un de leurs adages de navigation. Toutefois c'est au XIXe siècle seulement que ce phénomène météorologique a été mis hors de doute. Dove le premier a réuni les témoignages épars qui confirment l'idée populaire, et transforment l'ancienne hypothèse en certitude scientifique. Désormais il est devenu tout à fait incontestable, grâce au savant berlinois, que, dans l'hémisphère du nord, les vents se succèdent le plus fré-

1. *When wind veers against the sun,*
Trust it not, for back it will run.

quemment dans un ordre régulier que l'on indique par la formule suivante :

S.-O., O., N.-O., N., N.-E., E., S.-E., S., S.-O.

Dans l'hémisphère méridional, la rotation normale des courants aériens s'accomplit en sens inverse, c'est-à-dire du nord-ouest au sud-est par l'ouest et le sud, et du sud-est au nord-ouest par l'est et le nord :

N.-O., O., S.-O., S., S.-E., E., N.-E., N., N.-O.

Ainsi, dans chacun des hémisphères opposés, la procession des vents coïncide avec la marche apparente du soleil, qui, pour les Européens, décrit sa course journalière au sud du zénith, et, pour les Australiens, passe au nord de ce même point. Tel est l'ordre régulier auquel le découvreur a donné le nom de « loi de giration » et que l'on désigne souvent et à très-juste titre par le nom de « loi de Dove. » Ainsi les vents généraux eux-mêmes suivent, dans leur succession, le même ordre que la petite brise diurne causée par la position relative de la terre et du soleil [1], et c'est peut-être grâce à l'appui de ces légères brises que s'établit dans l'espace le régime normal de la rotation des courants aériens.

Il ressort d'un grand nombre d'observations faites en diverses parties de l'Europe que les révolutions complètes des vents s'opérant dans le sens normal dépassent de beaucoup celles qui s'accomplissent dans le sens rétrograde. A Liverpool, à Londres, à Bruxelles, à Kharkof, les rotations directes constituent en moyenne les deux tiers des révolutions totales; sous ce rapport, il y a donc concordance presque parfaite entre le système atmosphérique de l'Europe occidentale et celui de l'Europe orientale. En étudiant les révolutions partielles, on n'arriverait pas toujours à un résultat analogue, parce que la direction d'un courant atmosphérique oscille souvent à droite

1. Voir, ci-dessus, page 313.

et à gauche d'un même point de l'horizon avant de décrire un mouvement de rotation complet dans un sens ou dans un autre. Du reste, pour se mettre en garde contre toute erreur, il importe d'étudier assidûment toutes les oscillations de la girouette, car si telle giration complète du vent ne s'est pas encore opérée dans l'espace d'un mois, telle autre peut s'achever dans l'espace d'un jour. A Gnadenfeld, en Silésie, Kolbing a observé une rotation normale dont la durée ne dépassa pas seize heures : c'est la longueur d'une nuit d'hiver [1].

1. Dove, *Loi des tempêtes*, p. 92. — *Poggendorff's Annalen*, LXII, p. 273.

CHAPITRE II.

LES OURAGANS ET LES TROMBES.

I.

Remous aériens. — Cyclones des régions équatoriales. — Le « grand ouragan. »

Il est probable que le vent ne se propage jamais en ligne droite. S'il en était ainsi, c'est qu'il ne rencontrerait dans sa course aucune des saillies du relief terrestre et ne se heurterait point à d'autres masses d'air, soit tranquilles, soit animées de mouvements opposés. Les courants atmosphériques, ayant toujours à lutter contre des obstacles de cette nature, doivent nécessairement se rejeter à droite ou à gauche en tourbillonnant et s'avancer par une série de remous semblables à ceux que forment les eaux d'un fleuve à la rencontre de deux courants. C'est ainsi qu'un vent subit enlève la poussière des grandes routes ou pousse devant lui les feuilles de la forêt. De même, pendant les journées d'hiver, lorsque des brises inégales se pourchassent dans l'atmosphère, les flocons de neige descendent en décrivant de longues spirales, et la fumée qui s'élève se déroule en cercles d'un diamètre de plus en plus vaste. Les molécules d'air, comme les astres eux-mêmes, se déplacent en tournoyant[1]. Que deux souffles d'air se rencontrent à l'issue d'une vallée et se propagent en longs remous, le mouvement circulaire se continue de proche en proche comme une ride à la surface de l'eau, et la masse aérienne en est

1. Carus, *Natur und Idee.*

troublée tout entière dans son équilibre. Jamais aéronaute n'a fait un voyage parfaitement rectiligne[1].

Dans toutes les régions de l'atmosphère où deux courants se heurtent de face ou se froissent latéralement, il se produit aussitôt sur la ligne de rencontre des remous aériens qui se meuvent avec une extrême rapidité, et leurs vastes tourbillons rétablissent promptement l'équilibre entre les deux masses d'air. Lorsque ces remous n'ont qu'une importance locale, on les connaît sous le nom de trombes; lorsque leurs effets se font sentir sur une grande étendue de pays, on se sert de la désignation plus générale et plus scientifique de cyclone, proposée par Piddington. Ce terme peut s'appliquer également aux ouragans (en caraïbe, *aracan, huiranvucan*) des Indes occidentales, aux *tornades* des côtes d'Afrique, aux typhons (*ti-foong*) des mers de la Chine, aux tempêtes tournantes de l'océan des Indes, aux grands coups de vent de l'Europe occidentale. Toutefois on désigne principalement par le nom de cyclone les tourbillons qui se développent suivant une courbe régulière, soit dans la mer des Antilles ou dans la mer des Indes, soit plus rarement dans l'océan Pacifique.

Les météorologistes ont constaté que les tempêtes tournantes des régions équatoriales se produisent surtout à l'époque du renversement des vents réguliers. Poey nous apprend que sur 365 ouragans qui ont sévi, de 1493 à 1855, dans les Indes occidentales, 245, plus des deux tiers, ont eu lieu d'août en octobre, c'est-à-dire pendant les mois où les côtes fortement échauffées de l'Amérique du Sud commencent à rappeler vers elles l'air plus froid et plus dense du continent septentrional[2]. Dans l'île de Barbadoes, plus des quatre cinquièmes des ouragans, soit 96 sur 114, ont eu lieu dans la même époque de l'année[3]. Dans la mer des Indes, c'est principalement vers l'équinoxe de mars, lors du changement des moussons et après les fortes chaleurs de l'été, que les cyclones sont le plus nom-

1. Flammarion, *Voyages aériens*, p. 240.
2. Poey, *Table chronologique des ouragans*, etc., 1862.
3. Robert Schomburgk, *History of Barbadoes*, p. 695.

breux. Dans le relevé des ouragans de l'hémisphère méridional, dressé par Piddington et complété par Bridet, il n'est pas fait mention d'un seul cyclone pour les mois de juillet et d'août; plus des trois cinquièmes de ces météores ont eu lieu pendant les trois premiers mois de l'année. C'est à cette époque du changement des saisons que les puissantes masses aériennes, chargées d'électricité, se mettent en lutte pour la suprématie et font naître par leur rencontre ces grands remous qui se développent en spirales à travers les mers et les continents. Toutefois le tourbillon n'occupe jamais en hauteur qu'une faible partie de l'océan des airs. D'après Bridet, la hauteur moyenne des ouragans de la mer des Indes est d'environ 3,000 mètres; suivant Redfield, il serait rare qu'un cyclone sévît à la fois au niveau de la mer et dans les couches atmosphériques supérieures à 1,800 mètres. D'ordinaire la couche tournoyante des airs est beaucoup moins épaisse; parfois même elle est d'une telle minceur, que les matelots d'un navire tordu par un cyclone voient au-dessus de leurs têtes l'azur du ciel ou les étoiles. Au-dessus du météore, les vents suivent leur marche régulière.

Ces brusques mouvements de l'air sont peut-être, après les grandes éruptions volcaniques, les météores les plus effrayants de la planète, et l'on ne saurait s'étonner que, dans la mythologie des Indous, Rudra, le chef des vents et des orages, ait fini par devenir, sous le nom de Siva, le dieu de la destruction et de la mort. Quelques jours avant que le terrible ouragan se déchaîne, la nature, déjà morne et comme voilée, semble pressentir un désastre. Les petites nuées blanches qui voyagent dans les hauteurs de l'air avec les contre-alizés se cachent sous une vapeur jaunâtre ou d'un blanc sale; les astres s'entourent de halos vaguement irisés, de lourdes assises de nuages qui, le soir, offrent les plus magnifiques nuances de pourpre et d'or, pèsent au loin sur l'horizon, l'air est étouffant comme s'il venait de passer sur la bouche de quelque grande fournaise. Le cyclone, qui tournoie déjà dans les régions supérieures, se rapproche graduellement de la surface du sol ou des eaux. Des lambeaux déchirés de nuages rougeâtres ou

noirs sont entraînés avec furie par la tempête qui plonge, traverse l'espace et s'enfuit; la colonne de mercure s'agite affolée dans le baromètre et baisse rapidement; les oiseaux se réunissent en cercle comme pour se concerter, puis s'envolent à tire-d'aile afin d'échapper au météore qui les poursuit. Bientôt une masse obscure se montre dans la partie menaçante du ciel; cette masse grandit, s'étale peu à peu et recouvre l'azur d'un voile affreux de ténèbres ou d'un reflet sanglant. C'est le cyclone qui s'abat et qui prend possession de son empire en tordant ses immenses spirales autour de l'horizon. A un silence terrible succède le hurlement de la mer et des cieux.

La marche du vent éprouve beaucoup plus de résistance dans l'intérieur des continents que sur la rondeur unie des mers; mais les phénomènes qui s'y produisent pendant les ouragans n'en sont pas moins terribles. Les constructions qui se trouvent sur le chemin du météore sont arrachées de leurs fondements, les eaux des fleuves sont arrêtées et refluent vers leur source, les arbres isolés éclatent et labourent la terre de leurs racines, les forêts plient comme si elles ne formaient qu'une seule masse et livrent à la tempête leurs branches rompues et leurs feuilles déchirées. L'herbe même est déracinée et balayée du sol. Dans le sillage de l'ouragan volent d'innombrables débris, pareils aux épaves qu'emporte un courant fluvial ou maritime[1]. D'ordinaire l'action de l'électricité s'ajoute à la violence de l'air en mouvement pour augmenter les ravages de la tempête. Parfois les éclairs sont tellement nombreux qu'ils descendent en nappes comme des cascades de feu; les nuages, les gouttes de pluie même émettent de la lumière; la tension électrique est tellement forte qu'on a vu, dit Reid, des étincelles jaillir spontanément du corps d'un nègre. Une forêt de l'île Saint-Vincent fut tuée tout entière sans que pourtant un seul tronc eût été renversé. De même, en Europe, sur les rivages du lac de Constance, un très-grand nombre d'arbres, restés debout malgré l'orage, furent complétement dépouillés de leur écorce.

1. Audubon, *Birds of America*.

C'est principalement sur les rivages des îles et des continents, là où la tempête, arrivant avec toute sa force initiale, n'a pas encore été retardée par les obstacles du sol, que les effets du météore sont le plus violents. C'est aussi là que, dans le désastre général, sont dévorées le plus grand nombre de vies humaines, puisque les navires se donnent précisément rendez-vous dans les ports et qu'en maints endroits des côtes il se trouve des terres basses, que les eaux brusquement refoulées peuvent noyer sur de vastes étendues. Cependant, lorsqu'un vent de cyclone vient se heurter aux montagnes d'une côte, il ne peut les dépasser, et les régions situées au delà restent complétement à l'abri. C'est ainsi qu'à l'île de la Réunion, l'ouragan ne frappe qu'un côté de l'île à la fois; trop bas pour franchir les montagnes, il ne désole d'abord que les campagnes situées sur l'un des versants; mais que dans sa marche à travers la mer, le vent double le promontoire qui l'arrêtait, et les ravages commencent aussitôt[1]. Depuis Colomb, le premier Européen qui ait contemplé les ouragans des Antilles, des milliers de navires se sont engloutis pendant les tempêtes tournantes des mers tropicales, soit au fond des ports et des rades, soit dans les mers qui baignent les côtes de l'Amérique, de la Chine, de l'Hindoustan, et les îles de l'océan Indien. Tel cyclone, comme celui de Calcutta en 1864 ou de la Havane en 1846, a fracassé plus de 150 grands vaisseaux en quelques heures; tel autre cataclysme du même genre, notamment celui qui passa sur le delta du Gange en octobre 1737, noya plus de 20,000 personnes dans les eaux débordées.

Au milieu de l'Océan, les dangers que courent les navires sont moindres qu'ils ne le sont dans les rades mal fermées des côtes; mais les sensations éprouvées par les marins doivent être d'autant plus vives qu'ils sont complétement isolés, perdus dans l'effroyable tourmente. Autour d'eux, le jour est sombre, plus sombre que la nuit, dirait-on, puisque le peu de lumière qui reste encore sert à faire voir les ténèbres. Les vents qui hurlent et qui sifflent, les flots qui s'entre-choquent, les mâts

1. Voir les figures des deux pages suivantes.

qui se ploient et se cassent, les membrures du navire qui se plaignent, toutes ces voix sans nombre se mêlent et se confondent en un mugissement effroyable, désespéré, couvrant même

CALME SOUS LE VENT DE LA RÉUNION. (15 février 1861.)

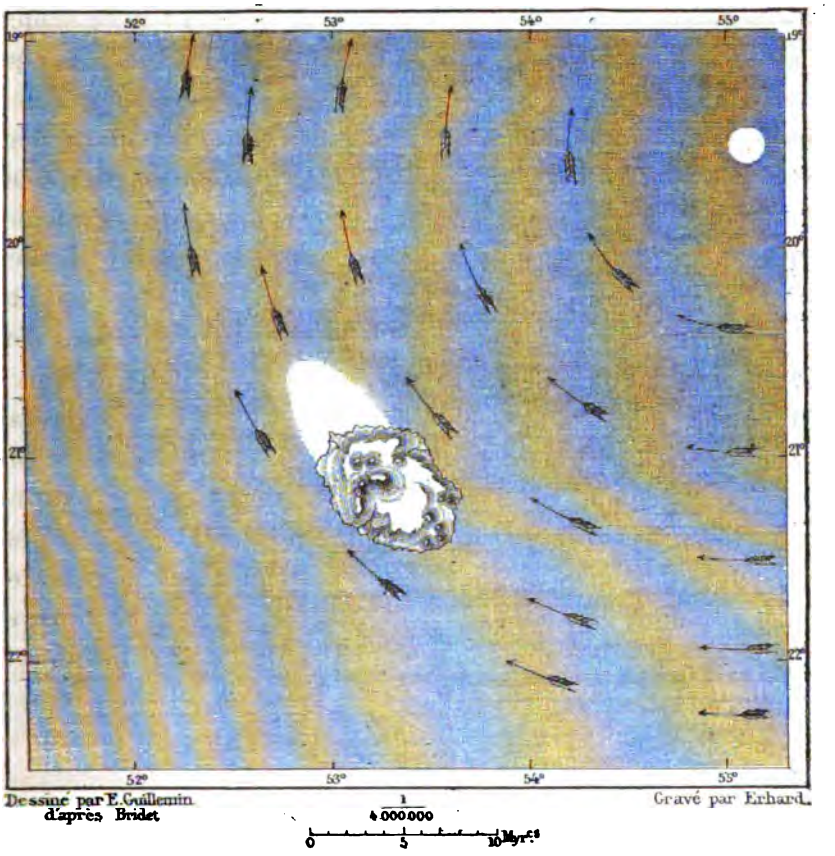


Fig. 109.

les éclats de la foudre. La mer ne se déroule plus en vagues larges et puissantes; mais elle bout à gros bouillons comme une chaudière énorme chauffée par le feu de volcans sous-marins. Les nuages bas ou même rampant sur les eaux émettent souvent une lueur qu'on dirait être le reflet de quelque géhenne invisible; au zénith paraît, environné de ténèbres, un espace blanchâtre, que les marins ont nommé « l'œil de la tempête, » comme s'ils voyaient réellement un dieu féroce dans l'ouragan qui descend du ciel pour les étreindre et les

secouer. Certes, lorsqu'au milieu de cette horrible tourmente, les matelots acceptent la lutte contre les éléments, et, défiant la mort, essayent de manœuvrer pour ramener leur navire

CALME SOUS LE VENT DE LA RÉUNION. (17 février 1861.)

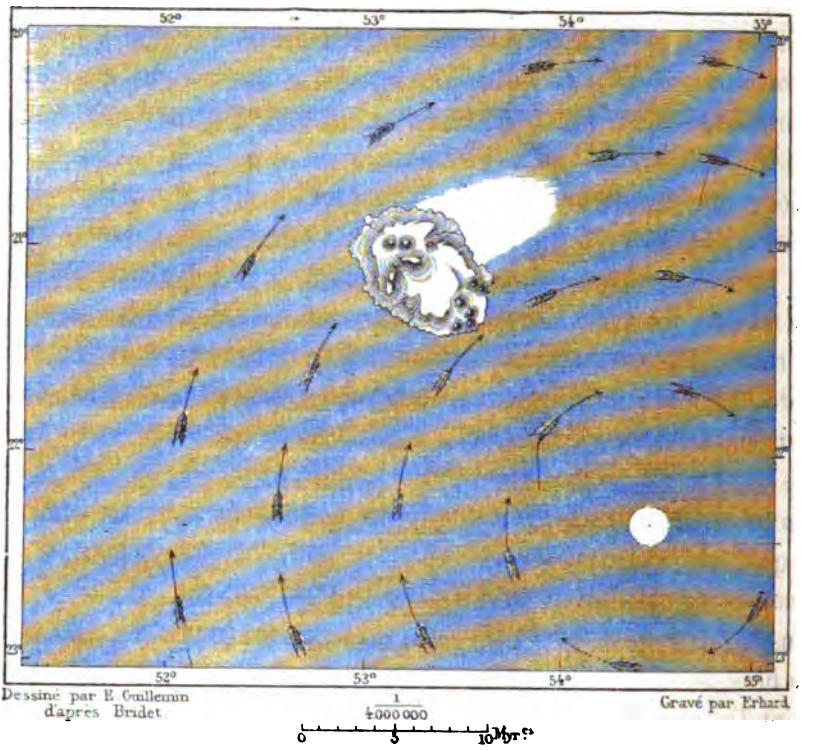


Fig. 110.

désemparé, sans voiles et sans mâts, ils donnent un sublime exemple de la grandeur humaine.

Parmi les effets qu'ont produits certains ouragans, il en est plusieurs qui sembleraient tout à fait incroyables si le génie de l'homme ne pouvait, au moyen de la poudre et des autres fulminants, imprimer à l'air une rapidité plus grande encore et se donner ainsi, mais sur des espaces très-limités, une force de destruction supérieure à celle de la tempête. Le 26 juillet 1825, pendant l'ouragan de la Guadeloupe, un coup de vent saisit une planche de l'épaisseur d'un pouce, et lui fit traverser de part en part un tronc de palmier de 40 centi-

mètres. De même, dans un moindre tourbillon qui passa près de Calcutta, un bambou fut lancé au travers d'une muraille d'un mètre et demi d'épaisseur, c'est-à-dire que le souffle d'air en mouvement sur ce point avait une force égale à celle d'un canon de six[1]. A Saint-Thomas, en 1837, la forteresse qui défend l'entrée du port fut démolie comme si elle avait été bombardée. Des blocs de rochers ont été arrachés du fond de la mer par 10 et 12 mètres d'eau et lancés sur la plage. Ailleurs, de solides maisons, déracinées de leurs fondements, ont glissé sur le sol en fuyant devant la tempête. Sur les bords du Gange, sur les côtes des Antilles, à Charleston, on a vu des navires échouer loin de la côte, en pleine campagne ou dans les bois. En 1681, un bâtiment d'Antigua fut même porté sur les falaises jusqu'à 3 mètres au-dessus des plus hautes marées et resta comme un pont entre deux pointes de rochers. En 1825, lors du grand ouragan de la Guadeloupe, les navires qui se trouvaient dans la rade de Basse-Terre disparurent, et l'un des capitaines, heureusement échappé à la mort, raconta que son brick avait été aspiré par l'ouragan, soulevé hors de l'eau, et qu'il avait pour ainsi dire « fait naufrage dans les airs. » Des meubles fracassés et quantité de débris enlevés dans les maisons de la Guadeloupe furent transportés à Montserrat par-dessus un bras de mer de 80 kilomètres de large. Des montagnes de Saint-Thomas, que le terrible fléau visite en moyenne tous les dix ans, on voit l'immense tourbillon noirâtre passer au loin sur la mer et sur les îles de Sainte-Croix et de Puerto-Rico.

Le plus terrible cyclone des temps modernes est probablement celui du 10 octobre 1780, que l'on a spécialement nommé le « grand ouragan ». Partant de Barbadoes, où rien ne resta debout, ni arbres ni demeures, il fit disparaître une flotte anglaise mouillée devant Sainte-Lucie, puis il ravagea complétement cette île, où six mille personnes furent écrasées sous les décombres. Ensuite le tourbillon, se portant sur la Martinique, enveloppa un convoi de transports français et coula plus de quarante navires portant quatre mille hommes

1. *India Review.* — Dove, *Loi des tempêtes.*

de troupes; sur terre, la ville de Saint-Pierre et d'autres localités furent complétement rasées par le vent, et neuf mille personnes y périrent. Plus au nord, la Dominique, Saint-Eustache, Saint-Vincent, Puerto-Rico furent également dévastés, et la plupart des bâtiments qui se trouvaient sur le chemin du cyclone sombrèrent avec leurs équipages. Au delà de Puerto-Rico, la tempête se replia au nord-est vers les Bermudes, et, bien que sa violence se fût graduellement affaiblie, elle n'en coula pas moins plusieurs vaisseaux de guerre anglais qui retournaient en Europe. A Barbadoes, où le cyclone avait commencé sa terrible spirale, le vent s'était déchaîné avec tant de fureur, que les habitants, cachés dans les caves, n'entendaient pas leurs maisons crouler sur leurs têtes; ils ne ressentirent seulement pas les secousses du tremblement de terre qui, suivant Rodney, accompagna le météore. La colère des hommes s'arrêta devant celle de la nature. Les Français et les Anglais étaient alors en guerre, et tous ces navires que la mer venait d'engloutir étaient chargés de soldats cherchant à s'entr'égorger. Au spectacle de tant de ruines, les haines des survivants se calmèrent. Le gouverneur de la Martinique fit mettre en liberté des matelots anglais devenus ses prisonniers à la suite du grand naufrage, déclarant que dans la commune catastrophe tous les hommes devaient se sentir frères.

II.

Vitesse des masses d'air tournoyantes et translation du cyclone. — Baisse de la colonne barométrique. — Irrégularités du vent sur le pourtour du cyclone.

On ne sait pas encore à quel degré de vitesse peuvent atteindre les masses d'air emportées par les cyclones, car c'est dans les régions supérieures de l'atmosphère, là où le milieu n'offre qu'une faible résistance aux courants aériens, que le vent de tempête doit avoir sa plus grande rapidité. Aussi ne

suffit-il point de constater la marche des molécules d'air immédiatement au niveau du sol, ou bien à une faible hauteur au-dessus, pour se faire une idée de la vitesse avec laquelle se meut la masse atmosphérique emportée par l'ouragan. Dans l'une de ses ascensions, Coxwell a fait un voyage de 110 kilomètres en 60 minutes, alors qu'au-dessous de lui la marche du vent était de 23 kilomètres à peine dans le même intervalle. Une autre fois, Glaisher se déplaçait de 25 kilomètres à l'heure, tandis qu'à l'observatoire de Greenwich la même nappe d'air n'avançait guère que de 3,200 mètres. Combien grande est donc la vitesse du cyclone à une certaine hauteur au-dessus du sol, quand sur la terre, semée d'obstacles, il progresse au taux de 45 mètres par seconde, ou de 162 kilomètres par heure, quatre fois la marche de nos locomotives? Cette rapidité si formidable de l'air à la surface de l'Océan et le frottement des molécules aériennes, qui en est la conséquence, expliquent parfaitement, ainsi que Cicéron le faisait déjà remarquer il y a deux mille ans, pourquoi la température de l'eau s'élève après les tempêtes[1].

Quant à la pression exercée par le courant aérien qui se meut avec une pareille vitesse, elle est vraiment formidable. Dans un mémoire sur la *Construction des phares*, Fresnel estimait la plus forte pression du vent à 275 kilogrammes par mètre carré, mais il est très-probable que dans nombre d'ouragans ce chiffre a été dépassé. Sans mentionner les effets produits par les grands cyclones des tropiques, il s'est présenté sous la zone tempérée nombre de cas où la pression exercée par le vent, sur un espace peu étendu, était de beaucoup supérieure aux prévisions des météorologistes. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, la tempête du 27 février 1860, venue de l'ouest et plongeant dans la plaine de Narbonne par l'espèce de détroit où passent le canal et le chemin de fer du Midi, eut assez de violence pour faire dérailler et renverser en partie deux trains qu'elle prit par le travers, entre les stations de Salces et de Rivesaltes. D'après l'ingénieur Mathieu, qui donne,

[1] *De Natura Deorum*. — *Zeitschrift für Erdkunde*, mars 1864

il est vrai, des évaluations probablement trop fortes, la pression nécessaire pour renverser certains wagons aurait été de 448 kilogrammes par mètre carré de surface[1].

Les masses d'air qui tournoient non loin de la partie centrale du cyclone sont les seules qui atteignent ces vitesses considérables de 100 et de 150 kilomètres à l'heure. Quant au mouvement de l'ensemble du météore à la surface de la terre, il est naturellement très-lent en comparaison du déplacement circulaire des molécules aériennes autour de leur axe. La vitesse de translation la plus considérable que l'on ait observée est celle de l'ouragan du mois d'août 1853, qui, après avoir marché aux taux de 48 kilomètres à l'heure, des Antilles au banc de Terre-Neuve, augmenta graduellement de rapidité et finit par dépasser 90 kilomètres à l'heure. La plupart des cyclones des Antilles se déplacent en moyenne de 20 à 30 kilomètres dans le même espace de temps; mais il en est aussi, notamment parmi les typhons de la Chine, qui marchent avec tant de lenteur, que plusieurs marins les ont considérés comme tournant sur place. A la fin du mois de février 1845, un ouragan, qui prit son origine près de Maurice, parcourut l'océan

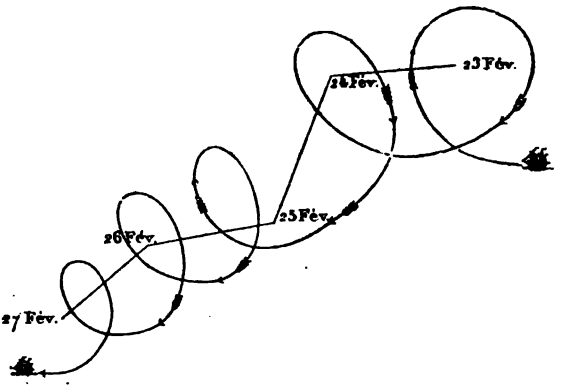


Fig. 111. — Les spirales du *Charles-Heddles.*

des Indes avec une vitesse moyenne d'au plus 5 kilomètres et demi par heure, tandis qu'un navire, le *Charles-Heddles,* placé à 90 kilomètres environ de l'axe du tourbillon, décrivait d'im-

1. Eugène Flachat, *Traversée des Alpes.*

menses spirales autour de ce point changeant. En cinq jours il fit cinq révolutions complètes au milieu de la mer, et, quoique dans ce voyage fantastique il ait parcouru au moins 2,400 kilomètres, cependant, lorsqu'il fut enfin délivré de l'étreinte du cyclone, il ne se trouvait qu'à 655 kilomètres du point de départ. Le navire avait tourné comme une toupie à la surface de l'Océan. D'après Bridet [1], la vitesse de translation des ouragans de l'océan des Indes est comprise entre les extrêmes de 1,800 mètres et de 33 kilomètres à l'heure.

Le mouvement du cyclone a pour effet de creuser en entonnoir toute la partie centrale du tourbillon et de rejeter les masses d'air vers la circonférence de cette énorme roue qui tourne dans l'atmosphère. C'est ainsi que, dans les rivières et jusque dans les moindres récipients, les remous sont toujours déprimés au milieu, à cause de la force centrifuge entraînant circulairement les eaux. La diminution de la colonne aérienne se fait aussitôt sentir par une diminution correspondante de poids, et le mercure baisse en conséquence dès que l'ouragan commence à se former dans les hautes régions de l'atmosphère. Le météore qui s'approche annonce ainsi sa venue prochaine, et ceux qu'il menace peuvent prendre leurs précautions soit pour échapper entièrement au désastre, soit pour en atténuer les effets. Les marins dont le navire est à l'ancre dans un port sûr doublent leurs amarres; ceux qui ont mouillé dans une rade foraine exposée à la fureur des vents, comme à la Réunion, se hâtent d'obéir au canon d'alarme et s'enfuient en pleine mer, de manière à s'éloigner du centre de l'ouragan. On a vu le baromètre baisser de 40, de 50 et même de 68 millimètres et demi [2], soit près d'un dixième de la hauteur totale du mercure, et chacune de ces perturbations n'a pas manqué d'être le signal d'une tourmente, d'autant plus horrible que le baromètre était précédemment plus élevé. Parfois la raréfaction de l'atmosphère s'accomplit d'une manière tellement soudaine, que l'air contenu dans les maisons

1. *Étude sur les Ouragans de l'hémisphère austral.*
2. A bord du navire *Duke of York,* en 1833, à l'embouchure du Hoogly.

se dilate tout à coup, fait explosion pour ainsi dire, et projette au loin les fenêtres et les portes. Aussi, dit Fitz-Roy, laisse-t-on en certains endroits les habitations ouvertes pour éviter de pareils accidents.

En mer, les eaux qui se meuvent avec le centre du cyclone se redressent à une hauteur d'autant plus grande que la pression atmosphérique s'amoindrit davantage; il se forme ainsi une « lame de tempête » dont la force s'ajoute à celle de la formidable houle qu'ont soulevée les vents. Telle est la principale cause de ces terribles ras-de-marée, non moins redoutables que des tremblements de terre, qui vont se dérouler sur les côtes voisines. Durant l'ouragan de Barbadoes, en 1831, les vagues qui se brisaient contre le promontoire septentrional de l'île étaient de 22 mètres plus élevées que le niveau moyen du flot; lors du grand cyclone de Calcutta, en octobre 1864, le Hoogly s'éleva de 7 mètres dans toute la partie inférieure de son cours et noya des îles entières; plus récemment encore, lors du grand ouragan qui dévasta Saint-Thomas, une vague se précipita sur la petite île de Tortola en opérant de tels ravages que, d'après une légende absurde répandue par la terreur, l'île tout entière aurait été engloutie. Il est certain que l'eau de la mer peut être aussi aspirée, en plus ou moins grande quantité, par ce vide qui se forme au milieu du tourbillon, car plusieurs fois, et notamment à Barbadoes, Reid a vu des pluies d'eau salée tomber à une grande distance du rivage, à l'intérieur de l'île, et tuer dans les lacs et les ruisseaux tous les poissons d'eau douce qui les habitaient.

Le mouvement circulaire des cyclones ne s'accomplit point indifféremment dans l'un ou l'autre sens. Comme les phénomènes réguliers des vents, les grandes perturbations atmosphériques se conforment à des lois, et même ces terribles météores sont ceux dont la marche peut être le mieux prédite par les marins. Dans l'hémisphère septentrional, les tempêtes tournantes des tropiques soufflent constamment du sud au nord par l'est, et du nord au sud par l'ouest; dans l'hémisphère méridional, la marche des tourbillons s'opère en

sens inverse, et les spirales du vent se développent uniformément par le sud, l'ouest, le nord et l'est. Telle est la loi découverte et mise en lumière par les travaux de Reid, de Redfield, de Piddington, de Bridet et d'autres météorologistes. Ainsi les

CYCLONE DANS LA MER DES INDES EN JANVIER 1852.

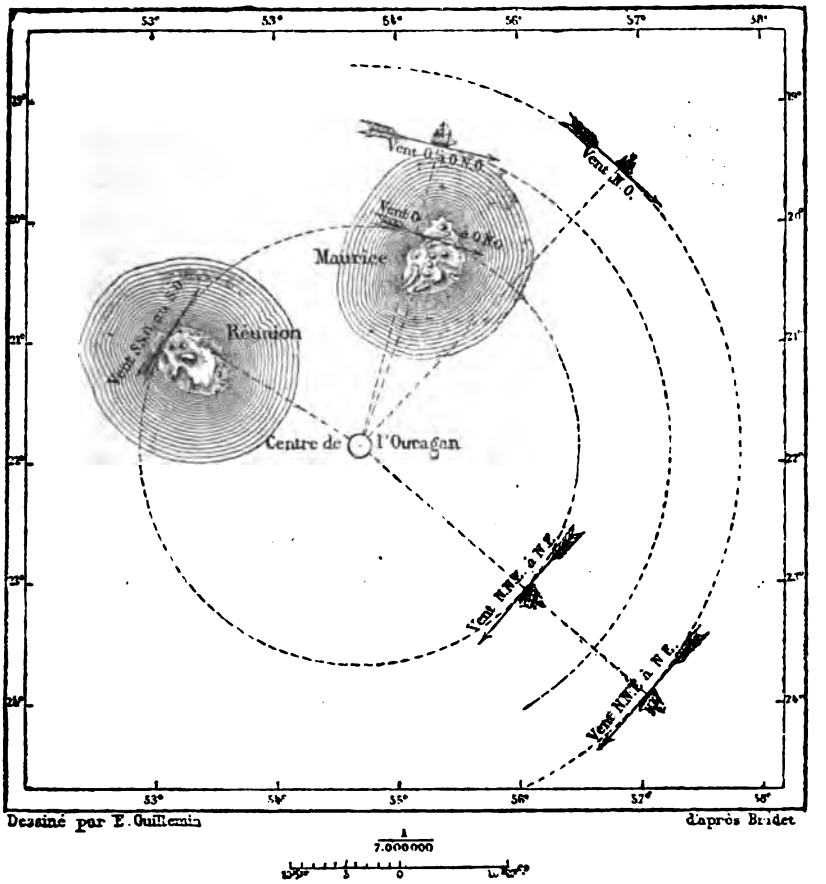


Fig. 112.

vents de toutes les parties de l'horizon soufflent en même temps sur la circonférence du cyclone : tel navire est poursuivi par un furieux vent d'est, tandis qu'à 50 kilomètres de là un autre bâtiment est coulé bas par des rafales venues de l'ouest. Et pendant tout ce tumulte des éléments en guerre, l'atmosphère reste parfois tout à fait calme au centre même de l'ouragan; une terrible paix, un silence formidable,

règnent dans l'enceinte changeante formée par le tourbillon rugissant de la tempête.

CYCLONE DANS LA MER DES INDES EN FÉVRIER 1860.

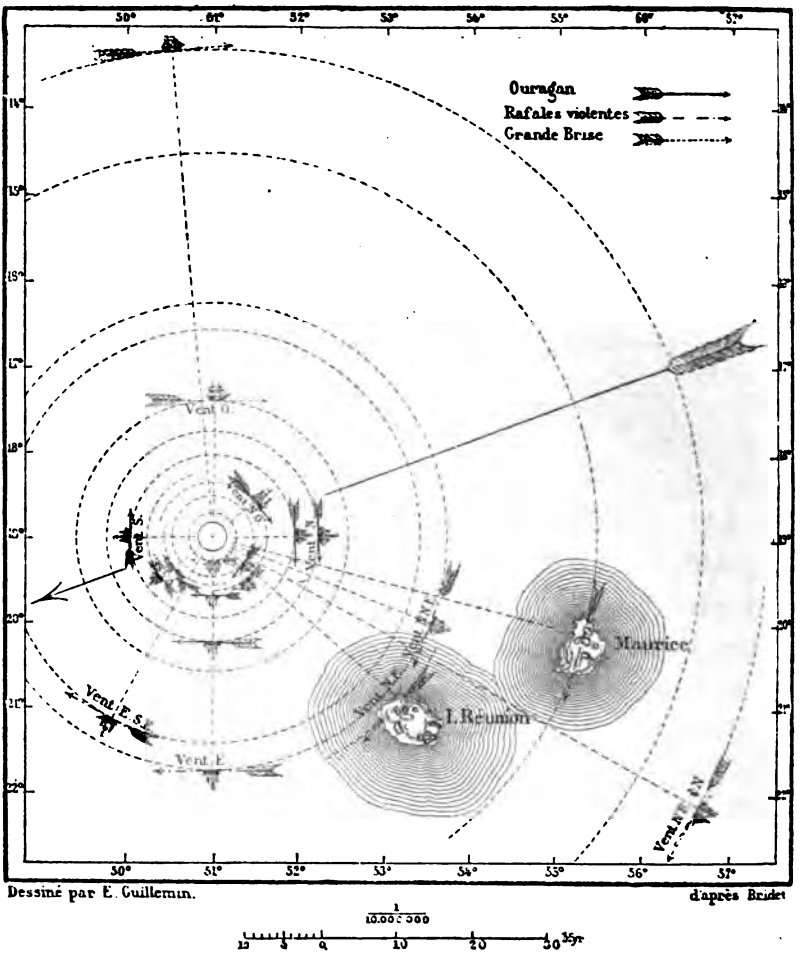


Fig. 113.

Si le cyclone tournait sur place, le vent soufflerait exactement dans la direction de la tangente sur tout le pourtour du météore; mais il n'en est pas ainsi à cause du double mouvement dont est animé l'ouragan : tout en tournoyant il se déplace, et par suite la direction du vent doit être la résultante des deux forces qui l'entraînent. Que le tourbillon tout entier se dirige vers l'ouest, et la vitesse normale du vent de tem-

pête, qui souffle dans le même sens sur la périphérie du cyclone, sera augmentée de la vitesse du météore lui-même; en revanche, le vent qui soufflera vers l'est sera partiellement

PARABOLE PARCOURUE PAR UN OURAGAN; d'après Bridet.

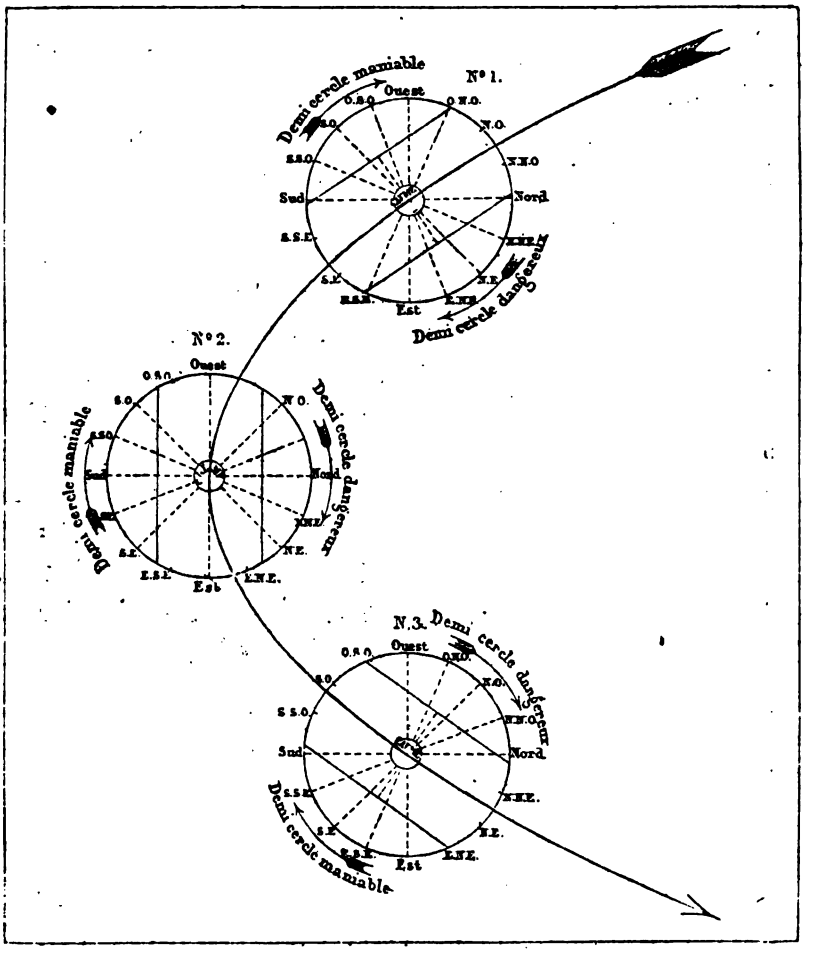


Fig. 114.

neutralisé, et sur tout le pourtour du cercle, les directions et les vitesses seront modifiées suivant des proportions qu'établit rigoureusement le calcul. Ce sont ces modifications subies par les vents successifs du pourtour de la tempête qui rendent souvent les cyclones difficiles à reconnaître dans les régions de la zone tempérée, où la vitesse de rotation des météores est

considérablement affaiblie. Sous les tropiques, où le tourbillon encore étroit est dans sa force première, on remarque moins cette inégalité des vents partiels de l'ouragan. Cependant elle est encore assez importante pour avoir été reconnue des marins. Une moitié du disque de la tempête est appelée par eux « demi-cercle dangereux, » l'autre « demi-cercle maniable. » Or cette partie de l'ouragan que la grande violence des vents rend dangereuse se trouve toujours sur le côté du cyclone où le vent marche dans le même sens que le météore. Cette moitié du disque où le vent ajoute sa vitesse propre à celle du mouvement de translation est dans l'hémisphère septentrional à la droite de la trajectoire du cercle tournoyant; dans l'hémisphère méridional, elle est à gauche[1]. La figure de la page précédente donne une idée du contraste qui se produit des deux côtés de l'ouragan sur la trajectoire qu'il parcourt dans l'océan des Indes. Ainsi que le fait observer M. Belgrand[2], les petits remous aqueux qui se propagent à droite et à gauche, en aval des piles d'un pont, ont une marche parfaitement analogue à celle des ouragans. Ils descendent en élargissant et en ralentissant leurs spirales, qui toutes ont leur demi-cercle rapide tourné vers le courant et leur demi-cercle ralenti du côté de l'eau tranquille.

III.

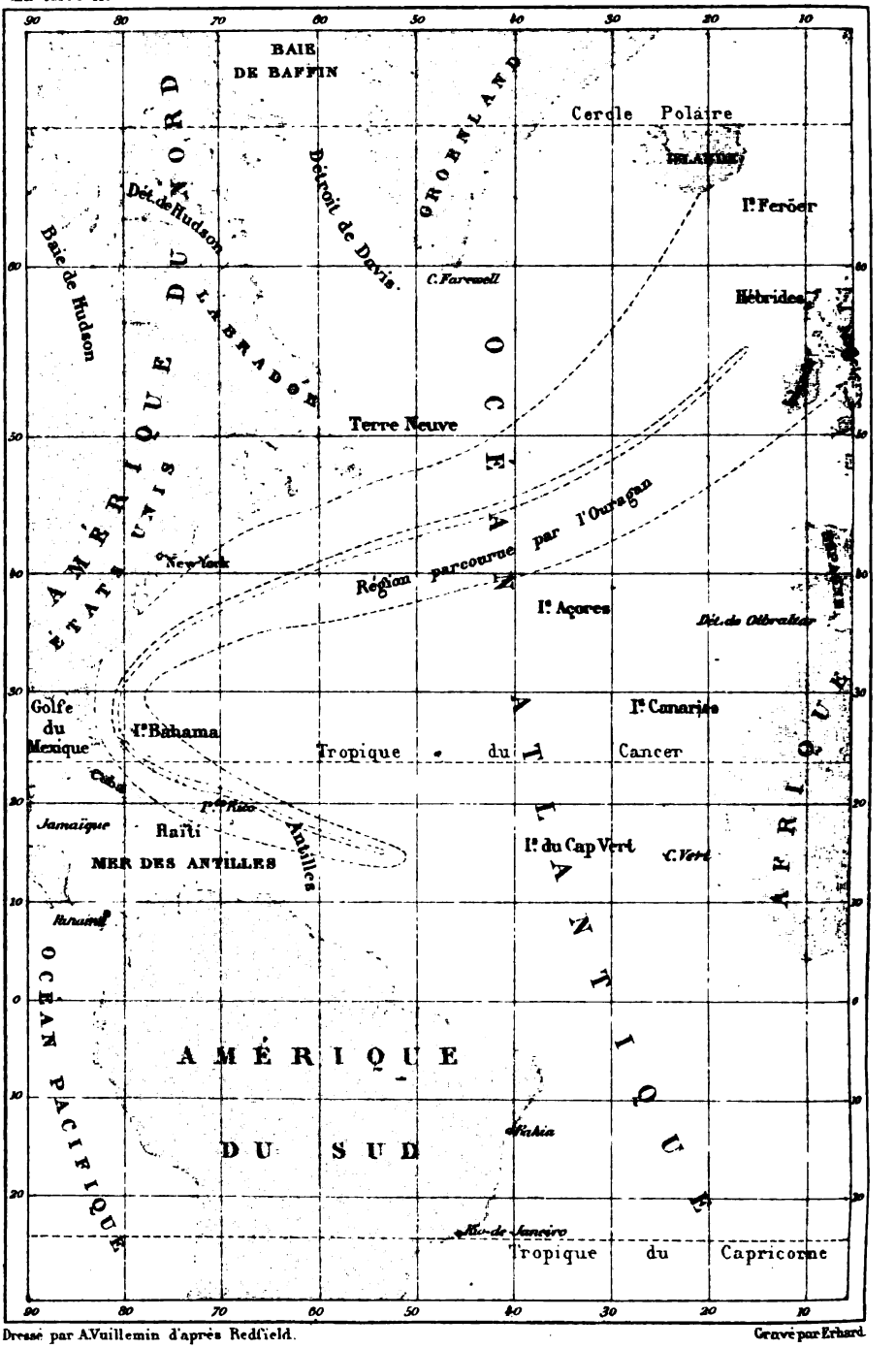
Spirale des ouragans dans les deux hémisphères. — Théorie des cyclones. Instructions nautiques pour éviter l'ouragan.

A leur départ des régions tropicales, où ils sont nés de la lutte des vents alizés ou de celle des moussons, la plupart des

1. Marié-Davy, *Mouvements de l'Atmosphère et des Mers.*
2. *Seine aux âges préhistoriques, Appendice.*

[illegible]

OURAGAN D'AOUT ET SEPTEMBRE 1848.



Dressé par A. Vuillemin d'après Redfield.

Gravé par Erhard.

cyclones du nouveau monde se dirigent d'abord vers le nord-ouest, parallèlement à la rangée des Antilles ou bien aux rivages de la Colombie et de l'Amérique centrale, puis, revenant en arrière comme une boule de billard qui tourne sur elle-même en sens inverse de l'impulsion reçue, ils longent les côtes des États-Unis, en décrivant dans les airs une orbite superposée au lit du Gulf-stream.

Dans l'hémisphère méridional, c'est le phénomène inverse : les cyclones de l'océan des Indes prennent leur origine au sud de l'Hindoustan, se déplacent au sud-ouest vers la Réunion, Maurice et Madagascar, puis se recourbent brusquement pour se diriger au sud-est vers les mers antarctiques. Le mouvement d'hélice du vent dans ce grand tourbillon s'opère de l'ouest à l'est par le nord, c'est-à-dire dans le même sens que l'aiguille d'une montre. C'est le mouvement inverse de celui qui se produit dans les ouragans de l'hémisphère du nord.

Quelle est la cause du tourbillon lui-même et d'où vient le changement brusque qui s'accomplit dans sa direction vers la limite extérieure des alizés? Voici, d'après Dove, quelle serait l'explication de ces phénomènes :

Lorsque, sur les déserts de l'Asie et de l'Afrique, d'énormes quantités d'air chaud se sont élevées dans les espaces supérieurs, ces masses aériennes dilatées doivent s'épancher latéralement. Celles qui sont entraînées au-dessus de l'Atlantique boréal, dans la direction de l'ouest, contraire à celle du mouvement de la planète, rencontrent le courant de retour qui s'écoule du sud-ouest au nord-est, en sens inverse des alizés. Il en résulte un conflit entre les deux fleuves atmosphériques ; un tourbillon d'air se propage en spirales dans la direction du nord-ouest, sous l'impulsion combinée des deux forces en lutte. En même temps la masse tournoyante, cherchant une issue, descend obliquement vers la surface de la mer, et, comprimée à droite par le souffle des alizés, elle continue à marcher vers le nord-ouest. Arrivé en dehors des tropiques, l'ouragan ne se trouve plus sous la pression latérale du vent de nord-est ; il a devant lui un chemin libre et, sous l'influence du mouvement

de la rotation terrestre, il se replie par une gracieuse courbe dans la direction du nord, puis dans celle du nord-est. En même temps la tourmente qui vient d'entrer dans la zone tempérée élargit graduellement le diamètre de ses spirales et, par suite, perd de sa violence à mesure qu'elle avance vers le pôle. Ainsi l'ouragan de 1839, dont la largeur était d'environ 500 kilomètres par le travers des Antilles, s'était dilaté jusqu'à 800 kilomètres au-dessus de la mer des Bermudes, et vers le 50e degré de latitude nord, il n'occupait pas un espace moindre de 1,200 kilomètres; mais aussi ses effets destructeurs avaient diminué en raison de sa dilatation. Le même vent qui vient de raser une ville des Antilles et de briser les navires comme des jouets se contente parfois, lorsqu'il arrive sur les côtes irlandaises, de déraciner quelques arbres et de renverser des pierres déjà branlantes.

Telle est la théorie proposée par Dove et qui semble la plus probable, du moins pour les ouragans de l'Atlantique. Quant aux cyclones de l'océan Indien, ils sont produits peut-être par le conflit des alizés du sud-est et de la mousson qui se porte vers le continent d'Afrique. M. Bridet n'y voit que le résultat de la rencontre de deux vents accourus l'un de l'équateur, l'autre de l'hémisphère austral. Celui de l'équateur, participant à la grande vitesse angulaire de cette partie du globe, dévie vers l'est à mesure qu'il avance vers le tropique du Capricorne; le vent du sud, emporté moins rapidement autour de la terre, dévie au contraire vers l'ouest, et de ces deux déviations en sens inverse résulte, lors de la rencontre des vents, un mouvement de tourbillon dans le sens de l'est à l'ouest par le sud. En moyenne, les cyclones de l'océan Indien ont de 400 à 500 kilomètres au commencement de leur course, de 700 à 900 vers le milieu et de 900 à 1,100 vers la fin; leur influence se fait sentir quelquefois jusqu'à 2,000 kilomètres de l'axe de la tempête. Il est vrai que souvent deux ou plusieurs cyclones se suivent à peu de distance; des remous latéraux accompagnent le tourbillon principal, de même qu'à la surface des mers on voit, à côté du grand entonnoir tournoyant, formé par la rencontre des eaux contraires, se creuser plusieurs cer-

cles de second ordre. Bridet a recueilli de nombreux exemples de ces cyclones simultanés[1].

Des obstacles locaux, tels que des plateaux et des chaînes

CYCLONES SIMULTANÉS A LA RÉUNION en décembre 1824.

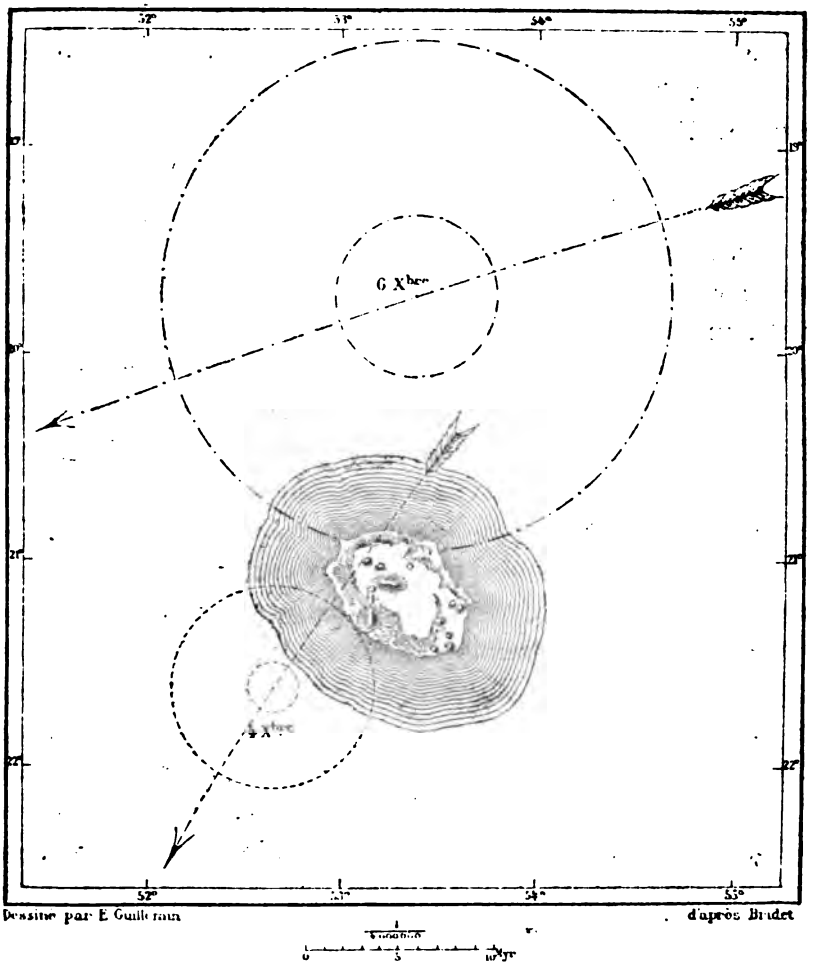


Fig. 115.

de montagnes, peuvent également causer des ouragans lorsque des masses aériennes viennent s'y heurter directement. Ainsi, dans le golfe du Bengale, lors des changements de la mousson du nord-est en mousson du sud-ouest, celle-ci vient frapper

1. *Étude sur les Ouragans de l'hémisphère austral.*

contre les montagnes d'Arracan, et, par suite de ce choc, il se produit un cyclone soudain qui retourne vers le nord-ouest et traverse tout le Bengale et les provinces septentrionales de l'Hindoustan, jusqu'à l'Indou-Kouch. Il est possible que les typhons des mers de Chine doivent leur origine à des causes semblables; dans ce cas, ils ne seraient autre chose que des moussons déviées et transformées en ouragans à cause de l'obstacle que leur opposent les montagnes des Philippines et de Formose. D'ailleurs toutes ces terres montueuses, de grandeur et de formes différentes, qui parsèment cette partie de l'océan Pacifique et sont séparées les unes des autres par d'inégaux et tortueux détroits, ne peuvent manquer de troubler singulièrement le régime normal des vents[1] et de produire, par conséquent, un grand nombre de tempêtes et d'ouragans souvent confondus sous le nom général de typhons. En revanche, sur le Pacifique oriental, où les alizés soufflent avec tant de régularité, les ouragans proprement dits sont très-rares. On les a observés seulement sur les côtes occidentales du Mexique.

Tant que le cyclone développe ses vastes courbes dans les régions équatoriales, le tourbillon tout entier doit pencher en avant, car les couches supérieures entraînées dans l'ouragan trouvent beaucoup moins de résistance dans l'air que les couches inférieures n'en trouvent sur le sol et à la surface de la mer. L'ensemble de la tempête peut alors être comparé à une immense roue tournant à plat sur le globe et pressant plus fortement la terre de sa partie antérieure. Toutefois, en se propageant par de grandes spirales dans les deux zones tempérées du nord et du sud, les ouragans subissent graduellement de telles modifications et présentent des irrégularités apparentes tellement considérables, qu'ils semblent au premier abord obéir à d'autres lois. Au lieu de pencher en avant, on dirait, au contraire, que de ce côté une véritable lacune sans cesse agrandie s'ouvre dans le tourbillon. Ainsi que le prouvent plus de 300,000 observations faites dans l'Atlantique septentrional à bord de navires américains, anglais,

1. Voir, ci-dessus, p. 303.

hollandais, et soigneusement comparées par MM. Andrau et Van Asperen[1], les vents de la région du nord manquent presque

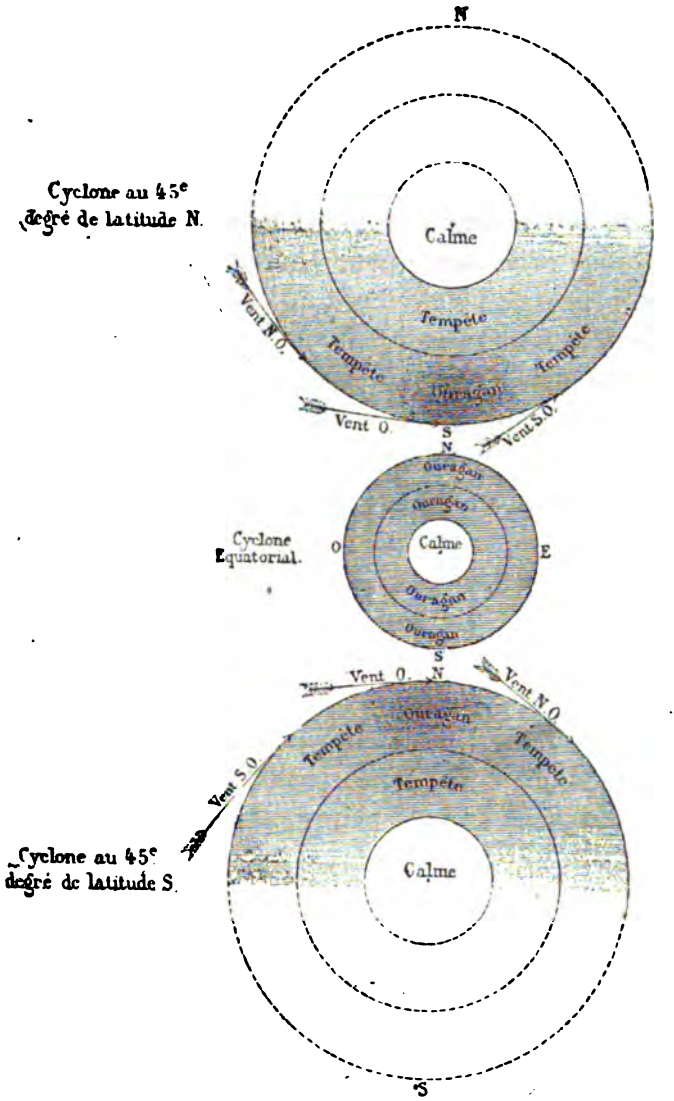


Fig. 116. — Inclinaison des cyclones sur l'axe terrestre ; d'après Andrau.

toujours dans les hélices des cyclones qui ont dépassé le trentième degré de latitude boréale. A mesure que le météore se développe vers le pôle, la zone tranquille de l'ouragan s'accroît.

1. *De Wet der Stormen*, 1862.

Les vents d'est et de sud diminuent peu à peu en fréquence et en intensité, puis disparaissent complétement. Enfin, du 50 au 60e degré de latitude, la rotation aérienne du cyclone n'est plus représentée que par les vents du nord-ouest, de l'ouest et du sud-ouest. On dirait qu'il ne reste plus qu'une moitié de l'ouragan. Au sud de l'équateur, des phénomènes semblables s'accomplissent en ordre inverse, et chaque courbe successive de la spirale des orages offre dans sa convexité méridionale une lacune plus ou moins grande selon la hauteur des latitudes. La figure de la page précédente peut faire comprendre les modifications qu'éprouvent les cyclones en se dirigeant des régions tropicales vers l'un et l'autre pôle[1].

Le fait que dans l'hémisphère septentrional les vents partiels de l'ouragan sont toujours plus forts sur la droite de la trajectoire, et dans l'hémisphère méridional, toujours plus forts sur la gauche, ne suffit point à expliquer ce contraste étonnant entre les deux moitiés du disque du cyclone. M. Andrau et d'autres savants hollandais ont tenté d'expliquer cette anomalie apparente. Pris dans son ensemble, l'ouragan peut être considéré, disent-ils, comme un disque tournant rapidement autour de son axe. Sa tendance naturelle est de se mouvoir incessamment dans le même plan de rotation, et seulement l'intervention d'une force considérable peut le faire incliner dans un sens ou dans l'autre. Il est vrai qu'à son point d'origine, sur les mers équatoriales, le cyclone se penche plus ou moins fortement vers la partie antérieure; mais à mesure qu'il se déplace vers le pôle, en tournant autour d'un axe idéal qui reste toujours parallèle à lui-même, il doit nécessairement s'incliner de plus en plus en arrière à cause de la courbure du globe. Tandis que la partie méridionale de l'ouragan rase encore les flots ou les campagnes, l'autre partie s'élève peu à peu à une grande hauteur dans l'atmosphère. Bientôt les vents supérieurs du tourbillon aérien ne se font plus sentir au niveau du sol et sont indiqués seulement par l'abaissement de la colonne barométrique et par les traînées de nuages qu'on voit

1. *Mittheilungen von Petermann*, t. XI, 1862.

fuir dans les hauteurs du ciel. Vers le 50e degré de latitude au nord et au sud de l'équateur, les cyclones, à demi redressés, n'effleurent plus la terre que par les vents de leur pourtour inférieur. Ces vents sont les mêmes dans les deux hémisphères; ils soufflent également du nord-ouest, de l'ouest et du sud-ouest; mais de chaque côté la giration s'accomplit en sens inverse.

Piddington, Redfield, Bridet, Lartigue et autres savants météorologistes ont tracé aux marins surpris par l'ouragan des règles de conduite générales qui, lorsqu'elles sont suivies à temps, peuvent sauver le navire menacé. Averti par le baromètre de l'approche du cyclone, le capitaine doit bien se garder de fuir à toute vitesse devant la tempête, dans la vaine espérance d'échapper au danger; en procédant de cette manière, ainsi que le lui conseillerait la terreur, il irait précisément se jeter au centre du tourbillon et livrer son navire à toute la fureur du vent et de la houle. Pour échapper à l'étreinte il doit manœuvrer de façon à se porter obliquement vers la circonférence du météore, aussi loin que possible de la partie centrale où le vent souffle dans toute sa violence. Malheureusement, quelles que soient la science du marin et sa connaissance des mers où il navigue, il lui est souvent bien difficile de savoir d'avance de quel côté vont l'aborder les vents et quelle est exactement l'orbite que suit à travers les mers le centre du cyclone; néanmoins, s'il hésite trop longtemps, il peut se trouver tout à coup dans le cercle fatal et se perdre avec son navire pour avoir manqué de l'audace nécessaire. Dans les hautes latitudes de l'Océan, il est plus facile de prendre une décision et d'échapper au cyclone, puisque la mer est ouverte dans la direction du pôle et que le marin n'a pas à craindre d'être complétement enfermé au milieu d'un cercle de tempêtes. C'est derrière lui que la partie inférieure de l'immense roue vient labourer les flots; devant lui, l'Océan est libre, ou du moins les vents qui en parcourent la surface sont produits par des causes locales et n'appartiennent pas au terrible météore. A de bien rares intervalles seulement, la partie supérieure du cyclone est rabattue sur la surface de l'eau par

de violents contre-courants atmosphériques venus des régions polaires. En treize années, les savants hollandais n'ont observé que deux cas de cette nature.

Ainsi les ouragans eux-mêmes, comme les autres manifestations de la vie du globe, ont une marche régulière et les mathématiciens peuvent essayer de calculer sur la rondeur terrestre l'orbite de ces effrayants météores. C'est en se conformant à des lois et en suivant des hélices tracées d'avance que les tempêtes tournantes se propagent de la zone équatoriale aux régions tempérées; bien loin d'apporter, par leurs violentes spirales, un trouble permanent dans l'air, elles ne se produisent au contraire que pour rétablir l'équilibre entre les ondes inégales de l'océan atmosphérique. Bien plus, elles aident aussi, conjointement avec les moussons et les contre-alizés, à maintenir l'équilibre astronomique de la planète. Ainsi que le fait remarquer Dove, le frottement continuel des vents alizés, que la rotation terrestre fait dévier incessamment vers l'ouest, finirait sans aucun doute par retarder le mouvement du globe autour de son axe, si d'autres courants aériens marchant en sens inverse ne contre-balançaient les causes du retard et n'accéléraient de leur côté la rotation de la terre d'occident en orient. Aussi faible que soit le souffle du vent comparé à la force de projection qui fait tourbillonner la planète, il n'en contribue pas moins aux mouvements du globe et à ses rondes harmonieuses dans le concert des astres.

IV.

Remous des tempêtes. — Les trombes.

Les mouvements atmosphériques appelés tempêtes ou coups de vent par les marins diffèrent des cyclones par leur plus faible intensité, mais ils sont plus nombreux. Dans certains parages de l'Océan, notamment dans l'Atlantique du Nord, ils sont tellement fréquents que, pendant quelques mois de l'année, on peut s'attendre à une tempête une fois

chaque deuxième jour : c'est là ce que montre une carte figurative dont chaque rectangle indique par une teinte différente le nombre proportionnel des tempêtes qui sévissent dans les régions les plus fréquentées de l'Atlantique boréal. Tous

TEMPÊTES DE L'ATLANTIQUE BORÉAL EN DÉCEMBRE, JANVIER ET FÉVRIER
d'après M. Buys-Ballot.

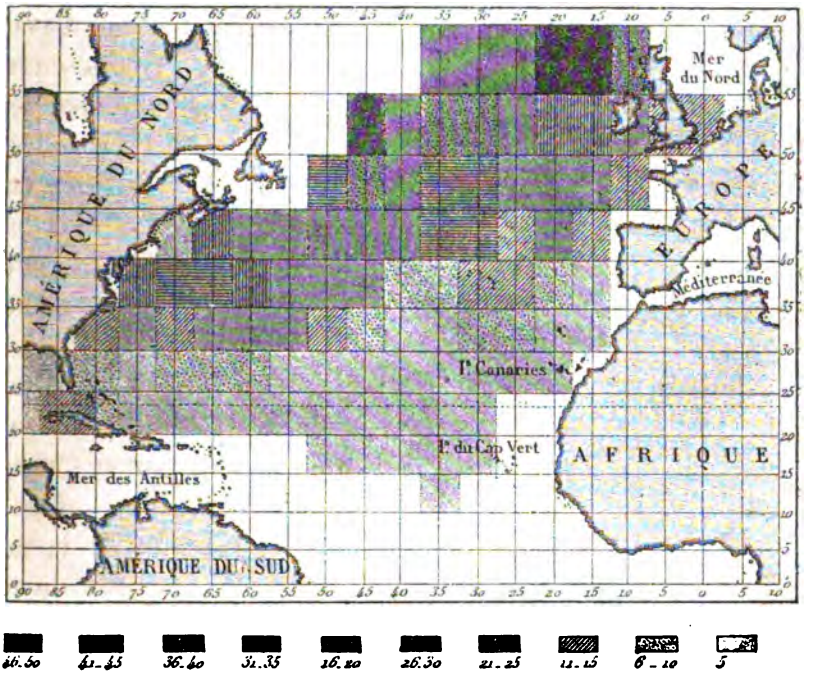


Fig. 117.

ces coups de vent se propagent en spirales, analogues à celles des ouragans. Tempêtes d'hiver ou bourrasques d'été, ils prennent leur origine à droite ou à gauche du Gulf-stream, et se développent en girations nécessitées par le mouvement même de la terre. En général, ceux qui se font sentir longtemps et avec une certaine violence naissent à l'ouest du courant du golfe, sur le continent américain du Nord. Les tempêtes qui commencent en Europe, c'est-à-dire à droite des courants océaniques et aériens de l'Atlantique ne peuvent fournir une longue carrière, car ils se trouvent sollicités en même temps par deux forces opposées. En effet, ces tourbillons atmosphé-

riques, simples remous latéraux du Gulf-stream, tendraient à se mouvoir de l'ouest à l'est par le nord; mais, par suite de la rotation du globe, les masses d'air qui affluent des pôles vers le foyer d'appel dévient à l'occident, tandis que les vents

OMBILIC DE TEMPÊTE LE 18 NOVEMBRE 1864.

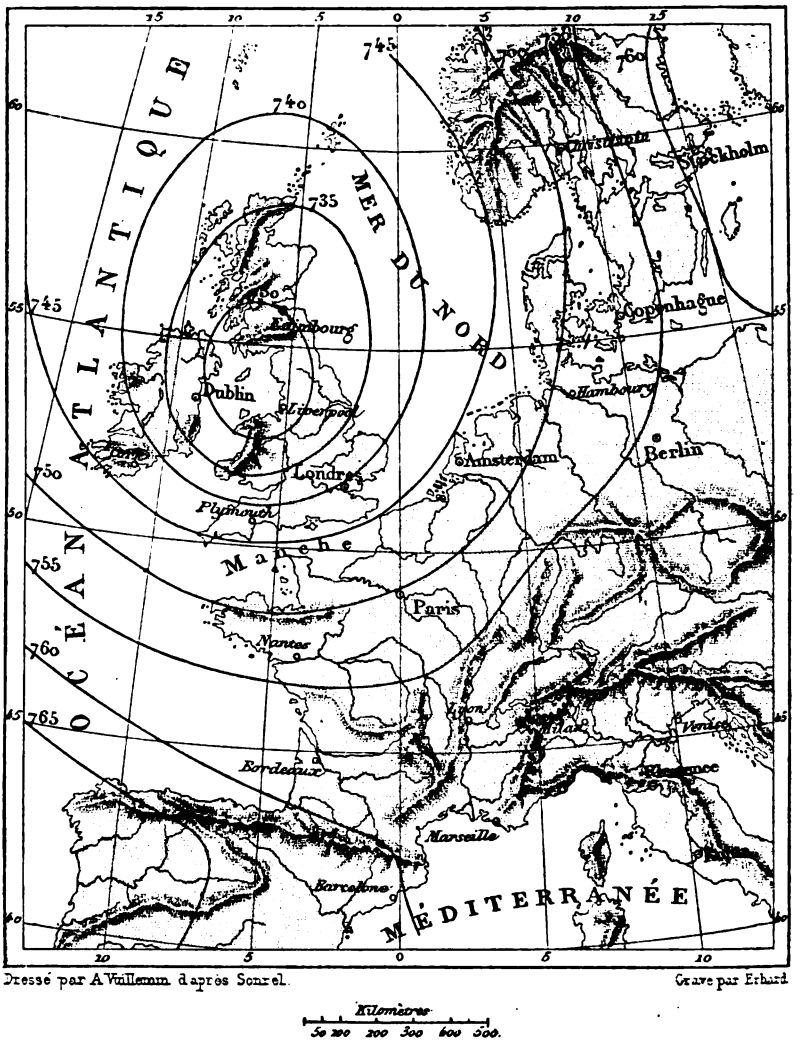


Fig. 118.

provenant des régions équatoriales dévient à l'orient; il en résulte qu'un mouvement tournant de l'ouest à l'est par le sud tend à se produire : les deux forces hostiles se neutralisent ou ne donnent lieu qu'à des troubles locaux. Au contraire, lors-

qu'un remous se forme à gauche ou à l'ouest du Gulf-stream, l'impulsion qu'il reçoit du courant et celle que la rotation de la terre donne aux vents attirés vers le tourbillon se développent dans le même sens; la tempête déroule librement ses circuits, et, par suite du mouvement général de l'atmosphère, se propage peu à peu de l'Amérique en Europe à travers l'Océan [1]. On pourrait citer de nombreux exemples de ces tempêtes tournantes qui, dans un espace limité, n'ont guère fait moins de ravages que les ouragans des Antilles [2]. Comme pour les cyclones, leur centre de rotation est indiqué par une baisse du baromètre et indiqué par une onde aérienne où la pression atmosphérique est au plus haut. Les cartes qui représentent l'état barométrique sur un pays que parcourent les tempêtes montrent nettement la forme de cette onde extérieure. M. Sonrel a donné le nom « d'ombilic » à la partie centrale du grand tournoiement des airs.

Il est également des cyclones locaux ne tournant que sur une seule contrée comme la France et l'Angleterre, ou même dans une seule vallée. Souvent, quand on regarde le ciel au-dessus de sa tête, on voit des nuages tournoyer sous l'impulsion de deux courants ennemis et se rapprocher les uns des autres pour s'éloigner encore; mais c'est principalement en s'élevant sur le flanc des montagnes que l'on peut assister au curieux spectacle offert par la lutte de deux masses d'air qui s'engouffrent dans une vallée et décrivent un remous plus ou moins rapide avec leurs nuées ou leurs brouillards. Du haut des promontoires des Pyrénées, le météorologiste Lartigue a contemplé un grand nombre de ces vents circulaires, semblables aux cercles que décrit l'eau d'un fleuve en amont d'un rocher (voir fig. 119 et 120) [3].

Quant aux trombes proprement dites, ce sont des phénomènes de peu d'importance comparés aux cyclones; mais, comme ces grands météores, elles sont dues à la rencontre de deux masses d'air plus ou moins considérables qui viennent

1. Sonrel, *Nouvelles météorologiques*, mars 1868.
2. Fitz-Roy, *Weather-book*.
3. Lartigue, *Essai sur les Ouragans et les Tempêtes*.

se frapper obliquement. Toutefois elles ne tournent pas uniformément dans un sens invariable pour chaque hémisphère, car elles ne sont pas causées, comme les ouragans, par la lutte

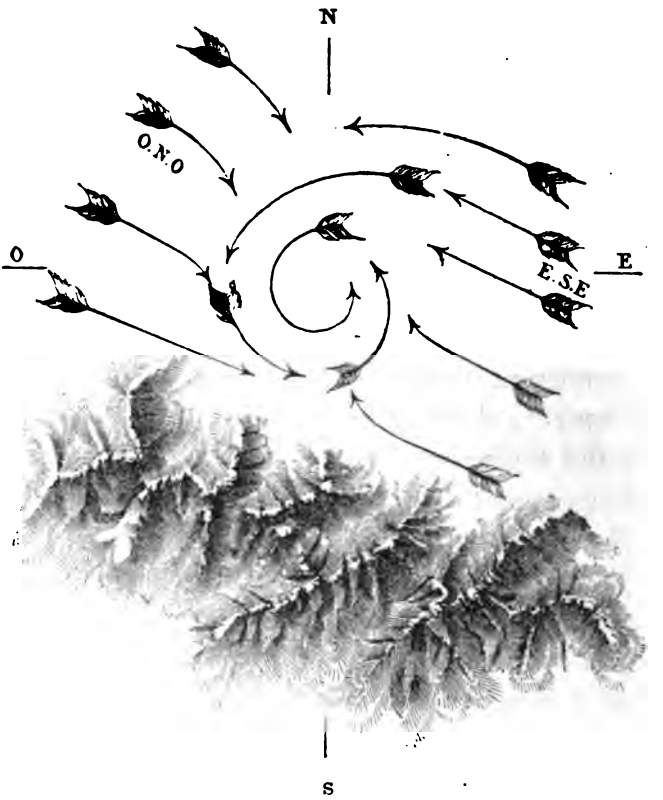


Fig. 119. — Orage dans les Pyrénées; d'après Lartigue.

de deux vents réguliers et peuvent naître du conflit de tous les courants d'air, soit normaux, soit variables, qui parcourent la surface de la terre. Des observateurs ont vu dans les mêmes régions des trombes qui tournoyaient du nord au sud, les unes en passant par l'ouest et les autres par l'est. Pendant une tempête, il doit même se former de chaque côté du fleuve aérien, comme sur les bords d'un courant fluvial, une série de remous tournoyant en sens contraire, et quelquefois avec assez de vitesse pour mériter le nom de trombes. En plein tourbillon de cyclone, le choc des rafales doit également produire des remous secondaires se déplaçant avec une extrême vitesse,

tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. S'il n'en était pas ainsi, on ne saurait comprendre comment, au centre même d'un ouragan, les effets produits par le vent diffèrent d'une

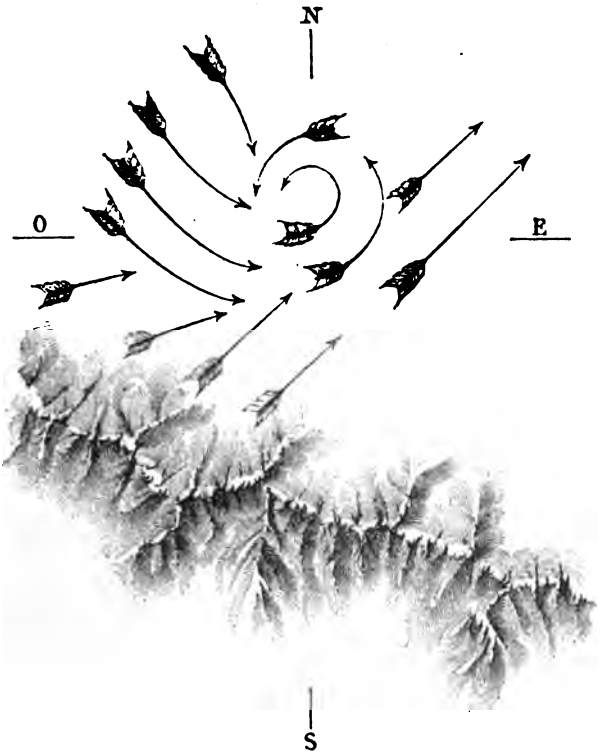


Fig. 190. — Orage dans les Pyrénées; d'après Lartigue.

manière si remarquable dans un espace de peu d'étendue. Ainsi, d'après Reid, on a souvent constaté que, durant les cyclones de Maurice, de hautes maisons déjà presque en ruine n'étaient pas même ébranlées par la tempête, tandis qu'à côté, de solides constructions étaient complétement saccagées et démolies [1].

Les trombes isolées se propagent parfois avec une rapidité non moins grande que celle des ouragans et peuvent causer des désastres analogues. La trombe qui passa sur Malaunay et Monville, le 19 août 1845, n'avait pas plus de

1. Lartigue, *Essai sur les Ouragans et les Tempêtes*, p. 89.

30 à 40 mètres en certains endroits, et dans sa plus grande

TROMBE DE MONVILLE; d'après M. Eugène Noël.

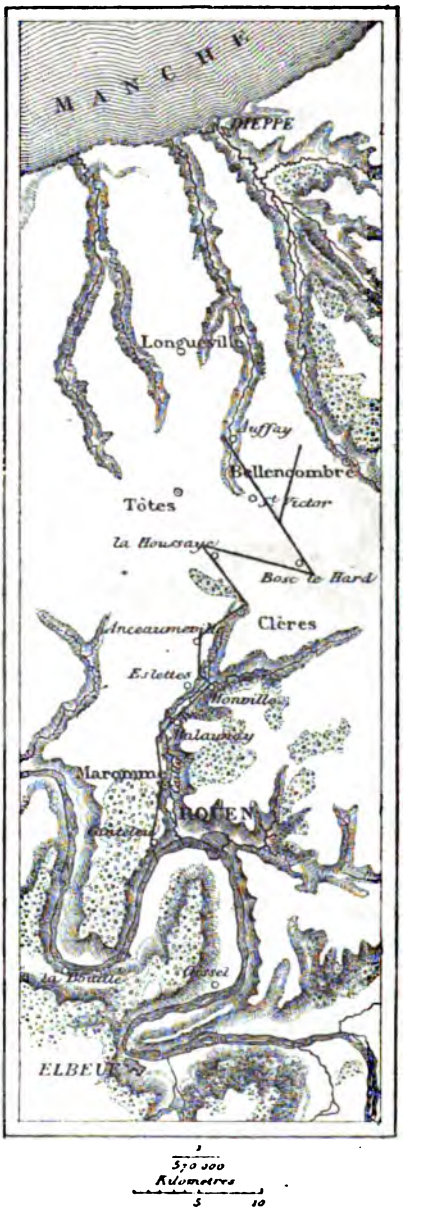


Fig. 121.

largeur, elle atteignit à peine un demi-kilomètre; pourtant elle commit les plus terribles ravages, et les habitants de

cette partie de la Normandie en garderont longtemps l'effrayant souvenir. Vers une heure de l'après-midi, après une journée de chaleur accablante, pendant laquelle la colonne barométrique était subitement tombée de 760 à 705 millimètres, des mariniers virent la trombe se former sur la Seine au pied des hautes falaises de Canteleu. Semblable à une pyramide renversée, noirâtre à la base et rouge au sommet, la trombe rasa les eaux de sa pointe, puis s'élança dans la vallée de Maromme. Elle ne s'avançait point en ligne droite, ni par des courbes allongées, mais par de brusques écarts à droite et à gauche, pareils aux zigzags des éclairs; des bois se trouvaient sur son passage, elle s'y traça de larges chemins par-dessus les arbres renversés, broyés, réduits en pulpe; puis, abordant successivement trois grandes filatures de Monville, elle les tordit dans ses spirales et les foudroya en même temps qu'elle les démolit. Après avoir entassé toutes ces ruines, sous lesquelles périrent des centaines d'ouvriers, la trombe s'ouvrit encore toute une avenue de débris sur le plateau de Clères, ensuite elle se bifurqua et remonta dans l'espace en emportant avec elle des objets de toute sorte, planches, ardoises, papiers, qui retombèrent près de Dieppe à des distances variables de 25 à 38 kilomètres du lieu de la catastrophe[1]. Il est évident, d'après tous les récits, que l'électricité a joué un très-grand rôle dans la trombe de Monville.

Ces météores, on le comprend, produisent des effets différents suivant la région qu'ils traversent. Ceux qui passent au-dessus des forêts fracassent les arbres, ou même les tordent en spirale. D'autres, qui parcourent de grandes prairies, telles que les pampas de Buenos-Ayres, les steppes du Turkestan et les contrées herbeuses de l'Afrique centrale, enlèvent en tourbillons des myriades de sauterelles et vont les porter, soit vers d'autres parties du continent, où ces insectes dévorent en un clin d'œil toutes les cultures, soit vers l'Océan, qui les engloutit; parfois les navigateurs en rencontrent, à des distances considérables de la côte d'Afrique, de véritables

1. Eugène Noël : documents inédits. — Daguin, *Traité de Physique*.

nuées que les orages ont enlevées du sol, puis livrées aux vents alizés du nord-est[1].

Dans les déserts poudreux du Sahara, de l'Arabie, du Khorassan, de l'Inde, de l'Amérique du Sud, les vents soulèvent d'énormes quantités ds poussière et les font tournoyer dans l'espace. Dans l'Hindoustan, Hermann Schlagintweit s'est trouvé au milieu de vents chauds, d'une température de 36 à 39 degrés centigrades, et chargés d'une poussière tellement

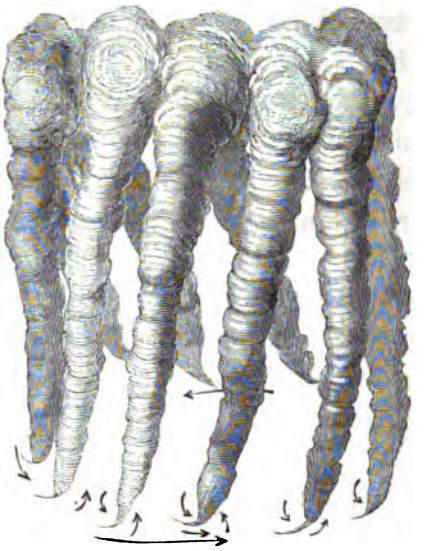


Fig. 122. — Trombe de poussière; d'après Baddeley.

épaisse que pendant plus d'une demi-heure on ne pouvait rien discerner à plus de 6 mètres de distance[2]. A Buenos-Ayres, les trombes de 1805 et de mars 1866 ont été assez puissantes pour rendre l'atmosphère aussi noire que la nuit et pour étouffer des piétons dans les rues; après le passage du météore, la pluie qui tombait versait de la boue sur le sol. Parfois les amas de poussière sont des colonnes tournant sur elles-mêmes et dansant en immenses rondes comme des génies de l'air; parfois aussi ce sont d'énormes coupoles tourbillonnant dans l'espace, recouvrant des centaines et même des milliers de mètres

1. Lartigue, *Système des Vents*, p. 70, 71.
2. *Reise in Indien*, 1er vol. p. 361.

en largeur et développant leurs ellipses pendant des journées entières jusqu'à de grandes distances. Ces trombes rendent l'atmosphère complétement obscure et irrespirable; pour ne pas être étouffés, les voyageurs sont obligés de s'enfermer à la hâte dans leur tente ou de se précipiter la face contre terre,

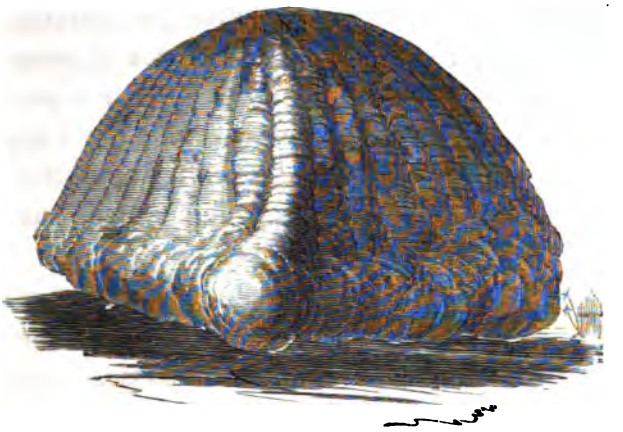


Fig. 123. — Trombe de poussière; d'après Baddeley.

afin de se faire contre l'orage de sable un rempart de leur propre corps. En même temps le frottement de tous ces grains de poussière tournant les uns autour des autres dégage d'une manière continue de véritables torrents d'électricité. Au-dessus de la trombe planent en cercle les grands oiseaux de proie, soit parce qu'ils veulent jouir de l'équilibre atmosphérique rétabli par l'orage, soit parce que divers petits animaux qui leur servent de nourriture sont entraînés dans le tourbillon[1].

Dans les pays de montagnes, les trombes ne peuvent soulever ni tourbillons d'animalcules ni masses de poussière, mais elles entraînent dans l'espace ces fusées de neige si redoutables pour les voyageurs surpris; bien plus, elles remuent jusqu'aux pierrailles, aux débris de schiste, de gneiss, de granit, et les font tournoyer en rondes qui se déplacent rapidement avec les courants aériens en conflit. Le géologue Theobald a vu de ces trombes de pierres qui n'avaient pas moins de

1. De Khanikoff, *Voyage dans le Khorassan.* — Baddeley, Alexander Buchan, *Meteorology.*

15 à 18 mètres de largeur; il n'est donc pas impossible que certains amas de débris schisteux, qui ressemblent à des « piles » élevées de main d'homme, aient été entassés par les tourbillons du vent[1].

Les trombes marines, étant des météores de même nature que les trombes terrestres, doivent également soulever les particules mobiles de la surface qu'elles parcourent. L'embrun des vagues est aspiré par le remous aérien et monte en tourbillonnant; parfois l'eau se gonfle et s'élève à gros bouillons dans le vide formé au milieu de la trombe par l'appel de l'air vers la circonférence. En dépit des récits populaires, il est bien rare que l'eau soit emportée jusqu'aux nuages bas qui pèsent sur la mer et qu'elle aille retomber en déluge à une grande distance; toutefois les flots d'eau salée qui se déversent au loin dans les terres pendant les ouragans prouvent que ce phénomène n'est pas impossible, et que des masses liquides, et non pas seulement des vapeurs ou des gouttelettes éparses, peuvent être aspirées dans l'espèce de cheminée que forme le météore. On dit que des navires menacés par une trombe ont réussi à détruire à coups de canon cette colonne mouvante de vapeurs et à rétablir ainsi l'équilibre de l'atmosphère; mais lorsque la trombe a des dimensions considérables, le passage d'un boulet à travers les vapeurs tourbillonnantes ne peut avoir que des résultats bien passagers. D'ailleurs une trombe est rarement un phénomène isolé; presque toujours elle se rattache à une tempête que le navire ne peut pas éviter. En général aussi, l'influence des remous aériens se fait sentir jusqu'à une grande distance de leur pourtour apparent : ainsi des mâts de vaisseau ont été brisés par le vent, alors que sur le pont on ne s'apercevait d'aucun mouvement violent de l'atmosphère et que le tourbillon semblait encore éloigné.

Malheureusement, il faut le dire, les trombes sont, de tous les météores, ceux qui ont été le moins soigneusement étudiés. Et pourtant il est certain qu'une connaissance approfondie des phénomènes divers qui s'accomplissent dans la formation de

1. Theobald, *Jahrbuch des Schweizer Alpen-Club*, p. 534.

ces faibles remous aériens fera bien mieux comprendre les tourbillons plus vastes des cyclones, le système des vents tout entier, et peut-être aussi les mouvements des astres dans le ciel et la rotation des nébuleuses. De même que l'embryogénie a contribué, plus que toute autre étude, au développement des sciences anthropologiques, de même c'est en suivant dès l'origine de son mouvement la molécule d'air qui tourbillonne dans l'espace que l'on pourra s'expliquer d'une manière plus nette et plus précise les grands faits relatifs à la circulation des airs ou même à celle des corps célestes. Tandis que l'astronome s'acharne à comprendre quelque cycle prodigieux des astres, trop vaste pour son œil et pour sa pensée, peut-être que là, sous ses yeux, un simple tournoiement de feuilles ou de poussière, qu'il dédaigne même de regarder, contient dans ses spirales la solution du grand problème,

CHAPITRE III.

LES NUAGES ET LES PLUIES.

I.

La vapeur d'eau. — L'humidité de l'air. — L'humidité absolue et l'humidité relative.

L'air qui se déplace et se mélange incessamment à la surface de la terre en brises ou en tempêtes, en trombes ou en cyclones, est en même temps le grand agent de distribution de la vapeur d'eau. Grâce au mouvement d'échange qui s'établit d'un pôle à l'autre pôle entre toutes les régions de l'atmosphère, l'eau qui s'évapore des océans, des fleuves, des lacs intérieurs, se répartit au-dessus de toutes les contrées du globe et même jusque sur les déserts : tandis que l'océan liquide n'entoure qu'une partie de la terre, une deuxième mer, portée par les couches aériennes, flotte souvent invisible sur la rondeur de la planète.

Au-dessus de toute nappe d'eau, et même au-dessus de la glace, il se forme toujours de la vapeur, à condition que l'air n'en soit pas déjà « saturé », c'est-à-dire qu'il n'en contienne pas exactement la quantité à laquelle il peut se mélanger sans qu'il y ait précipitation d'humidité. Cette limite de saturation varie avec la température. A 20 degrés au-dessous de zéro, 1 mètre cube d'air, pesant lui-même près de 1,300 grammes, ne peut guère contenir plus de 1 gramme de vapeur; à la température de la glace fondante, il peut recevoir plus de 5 grammes d'humidité; de 10 à 30 degrés, le nombre de grammes de vapeur qu'il absorbe correspond à peu près aux divisions de

l'échelle thermométrique; mais au delà de 30 degrés, la capacité de l'air pour la vapeur d'eau augmente d'une manière beaucoup plus rapide. A 100 degrés, l'atmosphère peut en absorber son propre volume; la tension de l'eau devient égale à celle de l'air et le phénomène de l'ébullition se produit, c'est-à-dire que la vapeur en formation soulève toute la colonne atmosphérique située au-dessus.

C'est en raison de l'accroissement de la température que la vapeur augmente dans l'atmosphère : tel est le vrai sens de l'adage vulgaire qui attribue au soleil le pouvoir de « pomper les eaux de la mer » pour en former des nuages. Toutefois une même augmentation de chaleur atmosphérique sur deux nappes d'eau de température égale n'a point nécessairement pour conséquence la production d'une même quantité de vapeur : l'agitation des airs est aussi un élément des plus importants pour activer l'évaporation. En effet, que l'atmosphère soit parfaitement tranquille, et la partie qui repose sur les eaux, bientôt saturée d'humidité, ne pourra plus en absorber de nouvelle; mais que la couche aérienne, déjà remplie de vapeur, soit emportée par le vent et remplacée par une nouvelle couche d'air sec, celle-ci prendra également sa part d'humidité, puis celles qui suivront se satureront à leur tour, et le phénomène de l'évaporation marchera d'autant plus rapidement que le courant d'air lui-même sera plus violent. On sait avec quelle vitesse les vents secs durcissent les champs et les chemins humides : on dirait qu'ils lèchent le sol, tant l'eau des flaques disparaît promptement.

Après avoir ainsi facilité l'évaporation sur les nappes d'eau et les parties humides des continents, les vents transportent la vapeur dans les diverses contrées de la terre et la mélangent à l'air sec, de sorte que nulle part, même à des milliers de kilomètres de l'Océan, l'air n'est complétement dépourvu d'humidité; cependant, on le comprend, la quantité de vapeur n'est point, à température égale, distribuée d'une manière uniforme. En pleine mer, les masses aériennes sont toujours très-rapprochées du point de saturation, même lorsque les nuages ne menacent pas de déverser la pluie, et par

conséquent la vapeur contenue dans l'atmosphère maritime diminue assez régulièrement de l'équateur vers les pôles suivant les courbes des isothermes [1]. Sur les rivages baignés par l'air humide des océans, la proportion de vapeur d'eau décroît également d'une manière normale des deux côtés de l'équateur; mais dans l'intérieur des continents, où la distribution des lacs, des rivières, des montagnes, offre une si grande diversité, et où les vents suivent des chemins si différents, la quantité de vapeur atmosphérique est aussi très-inégale. Tandis qu'au-dessus de l'Angleterre et de l'Irlande, l'air est presque toujours ou saturé de vapeur ou très-rapproché du point de saturation, dans les steppes de l'Asie centrale il est d'une très-grande sécheresse, et d'ordinaire il contient seulement 15 à 20 pour 100 de la vapeur qu'il pourrait absorber. En moyenne, l'atmosphère des continents renferme les trois cinquièmes de l'humidité qu'elle recevrait si elle était complétement saturée dans toute son étendue [2]. Cette proportion est celle que la superficie des océans ou bassins d'évaporation, comparée à celle des terres émergées, aurait fait admettre d'avance.

Lorsque l'atmosphère contient toute l'humidité que comporte sa température, la moindre molécule de vapeur supplémentaire suffit pour déterminer la précipitation, sous forme de gouttelettes, d'une partie de l'eau vaporisée; il se produit alors soit un brouillard soit un nuage, et la pluie commence. D'ailleurs, le point de saturation variant dans tout pays et dans toute saison, suivant les oscillations du chaud et du froid, il en résulte qu'une même quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère ne détermine point la formation de la pluie à deux températures différentes. La même proportion d'humidité qui, pendant l'hiver, sature complétement l'air froid et retombe en neige sur le sol, serait très-minime dans l'atmosphère échauffée de l'été, et la masse aérienne qui la contiendrait laisserait une impression de sécheresse; de même, tel

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *les Climats*.
2. Saigey, *Petite Physique du globe*.

vent, le siroco, par exemple, sec dans un pays chaud comme la Barbarie, devient humide sur les froides montagnes des Alpes[1]. Il importe donc de distinguer nettement l'humidité absolue de l'humidité relative. La première peut s'accroître graduellement, tandis que la seconde diminue, et, bien que l'air contienne alors une proportion de vapeur atmosphérique de plus en plus grande, il n'en paraît pas moins se dessécher peu à peu.

C'est là du reste ce qui d'ordinaire a lieu chaque jour, ainsi qu'il ressort des longues observations que le météorologiste Kämtz a faites à cet égard. Le matin, vers le lever du soleil, la température de l'atmosphère est au plus bas, et c'est précisément alors, ou un peu plus tard, à cause des vapeurs du sol, que l'air se rapproche du point de saturation. A mesure que la chaleur et l'humidité absolue s'accroissent, l'humidité relative diminue, puis elle augmente de nouveau quand le soleil décline sur l'horizon et que la température s'abaisse. Tel est le contraste qu'on observe d'une manière normale dans les pays tempérés de l'Europe occidentale. Quand le phénomène inverse se présente, la cause en est due à quelque grand trouble atmosphérique; mais les oscillations régulières de l'humidité ne tardent pas à se rétablir. Les seules régions où l'air se rap-

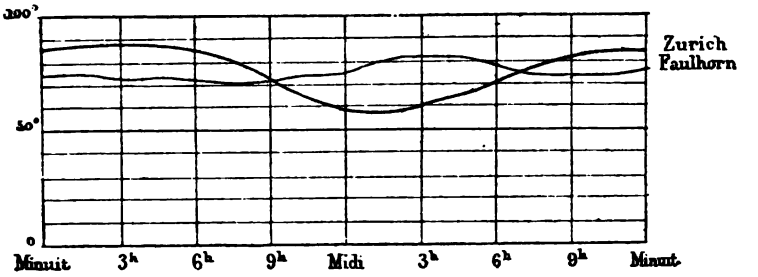


Fig. 124. — Variations des degrés hygrométriques à Zurich et sur le Faulhorn.

proche du point de saturation aux heures les plus chaudes de la journée sont les hautes cimes, vers lesquelles s'élèvent les vapeurs de la plaine. Ainsi, tandis qu'à Zurich, au pied des

1. Voir, ci-dessus, p. 314.

montagnes, l'humidité relative est en moyenne beaucoup moindre dans l'après-midi que dans la matinée, le phénomène exactement contraire se produit sur le Faulhorn, dont la haute cime est souvent environnée de nuages.

Pendant les diverses saisons de l'année, dont les variations successives reproduisent en grand la marche du jour, l'humidité absolue et l'humidité relative de l'air offrent le même contraste qu'aux périodes correspondantes de la journée : à mesure que la chaleur s'accroît et que la quantité de vapeur d'eau devient plus considérable, l'air s'éloigne du point de saturation et semble, par conséquent, devenir de plus en plus sec. C'est là ce que montre la figure suivante, empruntée à l'ouvrage de Kämtz. Toutefois il faut se souvenir que ces

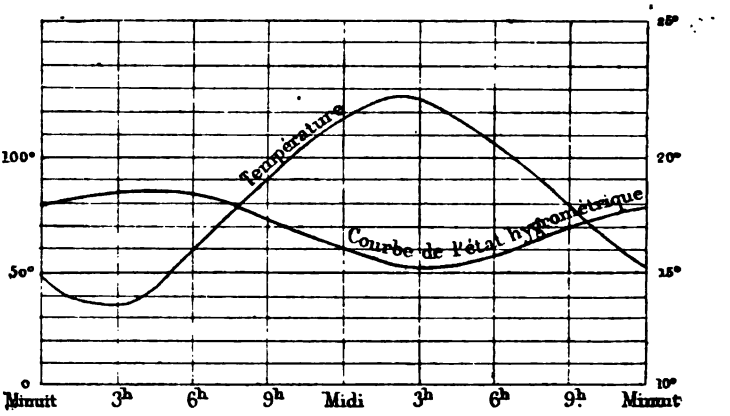


Fig. 125. — Marche comparative du thermomètre et de l'hygromètre en juillet à Halle.

courbes représentent seulement des moyennes, et qu'en réalité les oscillations de la vapeur atmosphérique sont bien autrement compliquées. En effet, toute variation de température, tout changement de vent modifie, soit par gradations lentes, soit par brusques secousses, la teneur de l'air en vapeur d'eau; la sécheresse, l'humidité, la saturation, se succèdent rapidement; parfois, dans un seul jour, c'est par dizaines que se comptent les ondées et les embellies; les courbes qui devraient alors figurer l'état hygrométrique de l'atmosphère offriraient une grande complication.

II.

Formation des brouillards et des nuages. — Hauteur, épaisseur, forme, aspect des nuées.

Lorsqu'une masse d'air humide reposant sur le sol dépasse le point de saturation, une certaine partie de la vapeur se condense aussitôt en gouttelettes blanchâtres qui par leur multitude voilent ou cachent complétement les objets et ne laissent plus passer qu'une terne lumière : ces gouttes innombrables constituent les brouillards. Ce sont des nuages encore attachés à la terre et rampant sur les campagnes ou sur les pentes des monts : ils se forment surtout pendant les nuits à cause du refroidissement de l'atmosphère; souvent aussi on les voit s'élever, le soir, des surfaces marécageuses et des prairies humides, enveloppant jusqu'à mi-hauteur les troncs des saules et des peupliers. Quand un vent froid descend des hauteurs de l'air et retient l'humidité dans les couches inférieures, le brouillard devient permanent et peut durer pendant des journées et même des semaines entières. Fréquemment le ciel est pur à une faible élévation au-dessus de ces vapeurs, et du haut d'un promontoire qui se dresse dans l'air libre, on peut alors contempler à ses pieds une grande mer blanche d'où les collines jaillissent çà et là comme des îles. Dans les mers boréales où s'opère le conflit entre les vents polaires et les courants équatoriaux, notamment dans le Pacifique du Nord, aux environs de Terre-Neuve, autour des îles Britanniques, les brouillards sont parfois d'une épaisseur et deviennent ces espèces de « poumons marins » dont parle Pythéas de Marseille. Ils sont tellement intenses que les anciens bardes en avaient fait un élément comme le feu, la terre, l'eau et l'atmosphère; il est vrai qu'à ces forces primitives s'ajoutaient

aussi pour eux les plantes que gonfle l'humidité du brouillard et le vent du sud qui le disperse dans le ciel[1].

Les nuages proprement dits sont des brouillards qui, au lieu de rester attachés au sol, flottent suspendus dans les couches aériennes à des hauteurs variables au-dessus de la terre. D'où vient que les vapeurs fournies à l'atmosphère par la surface des eaux montent ainsi dans les espaces et s'interposent en forme de voûte entre la rondeur du globe et l'immensité du ciel? Telle est la question qui se présente naturellement à tous les esprits curieux de savoir et qui a fait le sujet de bien des fables mythologiques. Les découvertes de la physique moderne ont résolu ce problème d'une manière générale; mais il reste toujours à élucider certains points de détail.

Par suite de la décroissance graduelle qu'éprouve d'ordinaire, à partir de la surface du sol, la température des couches aériennes superposées, la quantité de vapeur atmosphérique contenue dans les régions du voisinage de la terre est beaucoup plus considérable que celle des hauteurs; toutefois cette quantité est le plus souvent trop faible pour se condenser en brouillard et l'air inférieur reste pur en apparence. Mais que les variations de la température et des vents fassent monter vers les espaces élevés cette couche d'en bas, non encore saturée de vapeur, et bientôt elle se refroidira; l'humidité cesse d'être invisible, elle se condense en gouttelettes et la réunion de toutes ces molécules constitue le brouillard suspendu dans l'espace. Chaque nuage que nous voyons dans le ciel n'est donc, suivant l'expression de Tyndall, que le sommet visible d'une colonne ascendante de vapeur se dressant dans la transparente atmosphère.

Les molécules de vapeur condensée sont d'abord d'une finesse extrême; mais l'air n'est jamais en repos, et les gouttelettes, emportées à droite et à gauche par les courants partiels, sollicitées en outre par leur attraction naturelle, se rencontrent et s'unissent en globules plus considérables. En moyenne, ainsi que l'ont établi les mesures de Kämtz, le dia-

1. Skene, *The four ancient books of Wales, Book of Taliessin*, LV.

mètre des premières molécules liquides est tellement faible qu'il n'en faudrait pas moins de 25 à 30 pour faire 1 millimètre d'épaisseur; mais des centaines, des milliers d'entre elles, poussées les unes contre les autres, s'agglomèrent en gouttes plus ou moins grandes, et quand la pluie atteint enfin le sol, on en trouve qui n'ont pas moins d'un demi-centimètre de large ou même davantage. Tant qu'elles sont encore aussi fines et moins lourdes que la poussière, elles sont le jouet des courants aériens qui les enlèvent, les reprennent dans leur chute et les emportent au loin : les nuages de vapeur sont portés dans l'espace comme le sont aussi très-souvent les tourbillons du sable siliceux ou argileux des plaines. Puis, quand les gouttes, grossissant incessamment par l'union des globules entre-choqués, sont devenues trop pesantes pour se laisser emporter comme poussière, elles tombent obliquement sur le sol : suivant la température, la force des vents, l'épaisseur des nuages, ce sont tantôt des pluies fines, tantôt des averses ou de véritables déluges.

Même quand l'atmosphère semble être parfaitement calme et qu'aucune brise ne souffle dans l'espace, il arrive souvent que les nuées ne s'en maintiennent pas moins à une grande hauteur, comme si elles étaient plus légères que l'air ambiant. C'est qu'il se produit alors dans l'épaisseur des nuages et dans les vapeurs invisibles situées au-dessous un jeu alternatif et continu de condensation et d'évaporation. Les gouttes de pluie déjà formées tombent réellement du nuage, mais dans les couches inférieures et non encore saturées, elles se vaporisent de nouveau; si, pendant ce temps-là, d'autres courants d'air, latéraux ou ascensionnels et relativement chauds, apportent à la nue plus froide leur part d'humidité, celle-ci se condense et, à son tour, est entraînée par son poids dans le mouvement de descente. Un va-et-vient perpétuel de molécules de vapeur, visibles pendant leur chute, invisibles pendant leur ascension, s'établit ainsi autour du nuage, qui change lui-même de dimensions et de forme suivant les moindres variations de température. Que la chaleur augmente, et la nue se réduira peu à peu; que l'air devienne un peu plus froid, et la nébuleuse de goutte-

lettes s'accroîtra aussitôt de volume. Il est peu de spectacles qui dépassent en charme celui qu'offrent, par une belle et tranquille après-midi d'été, les nuages tour à tour formés et dissous dans l'azur du ciel. On voit d'abord un simple flocon de vapeur semblable à un oiseau blanchâtre planant dans l'espace; mais ce flocon grandit, s'étale, s'environne de traînées indécises : c'est maintenant une nue, encore à demi transparente, laissant voir le bleu de l'air à travers ses trouées; puis c'est un véritable nuage se développant en larges rouleaux sur la rondeur céleste. Mais qu'on y regarde quelques instants après, et déjà le nuage s'est déformé; peut-être s'est-il divisé en de nombreux fragments qui se rapetissent, s'effrangent, s'éparpillent, fondent et disparaissent : on croit les voir encore, mais ce n'est plus qu'une illusion, le ciel a repris son azur. D'autres fois, au contraire, le premier nuage que l'on a vu naître ne reste pas isolé; de nouveaux amas de vapeurs se condensent autour de lui, l'espace se peuple graduellement de nuées flottantes, qui se rapprochent, se rejoignent, s'agglomèrent, et bientôt le ciel, qui semblait complétement libre de vapeurs, offre de toutes parts une épaisse couche de nuages formée sur place par le refroidissement de l'atmosphère et la condensation des molécules d'humidité.

La hauteur à laquelle se forment et se soutiennent les nuages varie en toute saison et en tout pays suivant la température et la direction des vents. Il en est, surtout parmi les nues pourchassées des tempêtes, qui rasent les sommets des édifices et des arbres; d'autres planent à plusieurs centaines de mètres d'élévation; d'autres encore sont au niveau des plus hautes cimes de montagnes, et tous les aéronautes qui dans leurs ascensions ont dépassé les sommets des grands pics, ont encore vu des couches de nuages bien au-dessus de leurs têtes. M. Liais a trouvé une hauteur de 11,540 mètres pour l'amas de vapeurs le plus élevé dont il ait pris astronomiquement les dimensions : c'est là une altitude dépassant de près de 3 kilomètres celle du mont le plus colossal de la planète, et sans doute beaucoup de nuages montent plus haut encore dans l'atmosphère. Quant à l'élévation moyenne de la zone où se con-

densent les vapeurs, elle semble osciller dans les contrées de l'Europe occidentale entre 2,000 et 3,000 mètres; elle dépasserait donc les Vosges et les monts d'Auvergne, et ne serait dominée que par l'arête des Pyrénées et les massifs des Alpes. D'ailleurs, cette zone varie nécessairement avec les saisons à cause des changements de température; elle est plus haute en été, plus basse en hiver.

L'épaisseur des couches de nuages n'est pas moins diverse que l'altitude à laquelle se condensent les vapeurs. Depuis le mince voile transparent qui laisse passer la lumière des astres jusqu'à ces énormes amas superposés en strates de 5,000 mètres, comme ceux que Barral et Bixio traversèrent en 1850, il existe des nuages de toutes les dimensions verticales. Pour une moyenne de quarante-huit mesures faites dans les Pyrénées, M. Peytier a trouvé que l'épaisseur des couches nuageuses était de 450 à 500 mètres. D'après Piazzi Smyth, cette épaisseur est d'ordinaire de 300 mètres autour de l'île de Ténériffe, où les phénomènes météorologiques offrent en général une grande régularité. En outre, il arrive fréquemment que plusieurs assises de nuages s'étagent de distance en distance dans les hauteurs du ciel, et l'épaisseur totale des masses de vapeur condensées au-dessus d'un même point de la terre se trouve augmentée d'autant. Souvent ces étages superposés de nuées sont dus aux courants et contre-courants aériens qui soufflent de directions opposées à des hauteurs diverses; mais souvent aussi, lorsque l'air est parfaitement calme, on voit de ces assises nuageuses s'étager verticalement dans l'atmosphère. C'est que la couche la plus basse, une fois formée, constitue pour les espaces supérieurs une sorte de mer dont l'humidité s'évapore, sous les rayons du soleil, comme celle de l'Océan ou des lacs situés au-dessous. L'humidité, ainsi changée en vapeurs invisibles, se condense dans l'air plus froid à une certaine hauteur et forme une seconde strate de nuages qui à son tour donne naissance à une troisième couche plus élevée[1].

Par suite de la différence des milieux dans lesquels se

1. Saigey, *Petite Physique du globe.*

réfrigèrent les vapeurs, les nuées prennent les apparences les plus diverses sur les terres, sur les mers et même sur les fleuves. On dit que les Peaux-Rouges, ces observateurs sagaces de tous les phénomènes de la nature, savaient, lorsqu'ils parcouraient encore les plaines centrales de l'Amérique du Nord, reconnaître de loin le cours du Mississipi à la forme des nuages s'étendant au-dessus du fleuve en strates allongées. C'est principalement sur le pourtour des îles de l'Océan que l'on peut le mieux observer cette différence des nuages terrestres et des nuages maritimes. A Ténériffe, le contraste se produit de la manière la plus frappante. En été, la grande nappe blanchâtre des nues que les vents alizés déroulent dans l'espace se déploie uniformément au-dessus de tous les espaces océaniques; mais, par un temps calme, ce lit de nuages se termine à une certaine distance des contre-forts du pic de Teyde par des sortes de falaises de 2 ou 300 mètres d'élévation. En dedans de ce cercle formé par les nuages océaniques, la terre s'entoure de sa propre zone de vapeurs fumantes; celles-ci, beaucoup plus basses que les grandes nuées de la mer, s'attachent aux pentes en longues franges animées d'un mouvement bien différent de celui de la zone extérieure et tout à fait distinctes par la cou-

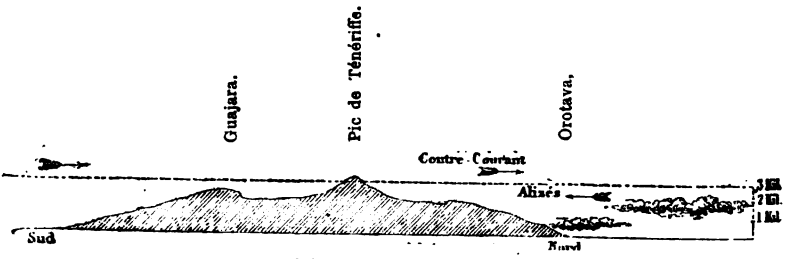


Fig. 126. — Régime des vents et des nuages à Ténériffe.

leur et la forme des volutes. Piazzi Smyth, qui pendant des mois entiers a pu étudier de haut les phénomènes de ces diverses couches, compare les nuages terrestres de Ténériffe à ces glaces de terre qui se forment autour des îles et des continents polaires et constituent une plate-forme solide, tandis que les banquises de la grande mer se brisent sous l'effort des courants et se dispersent en décombres.

Loin de tout rivage, les vapeurs condensées en amas visibles se distribuent aussi fréquemment dans l'espace avec une très-grande régularité, révélant ainsi la direction des vents contraires qui soufflent au-dessus les uns des autres. Il est des courants aériens qui, par la sécheresse de l'atmosphère qu'ils entraînent, se tracent à travers des régions humides un lit azuré aux bords aussi nettement limités que ceux d'un fleuve [1]. Ailleurs, des vents avides d'humidité scient pour ainsi dire, comme des piliers, la base des nuages épais au-dessous desquels ils passent, et, chargés de ces vapeurs dissoutes, véritables alluvions aériennes, ils vont les porter dans une autre région de l'espace.

Les météorologistes ont donné aux nuages des noms différents, suivant leur apparence extérieure; mais cette entreprise était difficile à cause de l'infinie variété de formes et de l'extrême mobilité des amas visibles de vapeurs qui planent dans le ciel. On a généralement adopté la classification de Howard, d'après laquelle les nuages sont ramenés à trois grands types, le *stratus*, le *cumulus* et le *cirrus*, qui se mêlent eux-mêmes diversement et produisent ainsi des combinaisons secondaires portant les noms de *cumulo-stratus*, *cirro-cumulus* et *cirro-stratus*. Ce sont là d'ailleurs des divisions en grande partie conventionnelles, que chaque météorologiste peut modifier à sa guise. Fitz-Roy ajoute une dizaine de variétés aux types et aux sous-types de nuages indiqués par Howard; il eût pu en ajouter davantage.

Lorsque l'air est calme et saturé d'humidité sur de très-grandes étendues, la masse des vapeurs condensées se déroule uniformément sur toute la rondeur du ciel et lui donne d'un horizon à l'autre une même teinte grise ou d'un bleu ardoisé; mais, dès que la couche s'élève dans l'espace, les inégalités en deviennent apparentes, le rideau flottant des nuages montre ses ondulations et ses plis, çà et là se voient quelques déchirures laissant le regard percer jusqu'à l'azur de la haute atmosphère. En montant dans le ciel, les nues se distribuent

1. Glaisher, *Voyages aériens*.

d'ordinaire avec une certaine régularité, leur face inférieure reste horizontale, et quand on les voit à l'horizon lointain, on constate qu'elles sont disposées en « strates » ou longues bandes parallèles. Il arrive souvent que, par suite d'une illusion d'optique, ces nuages, vus de face, semblent rayonner en forme d'éventail du bas en haut de la circonférence céleste; on les voit aussi jaillir, comme en fusées légères, d'une sorte d'arcade appuyée sur l'horizon.

Le cumulus, que les marins désignent sous le nom de « balle de coton », et dont l'électricité diffère de celle des stratus est généralement formé sur place par la condensation des colonnes ascendantes de vapeurs. On voit ces sortes de nuages s'entasser au bord de l'horizon en énormes rouleaux aux contours nettement définis : on dirait parfois des chaînes de montagnes gigantesques dont les sommets blancs et arrondis tranchent sur le profond azur. Leur base est presque toujours horizontale, et s'étale largement en une puissante assise, indiquant la zone précise de l'espace où les vapeurs invisibles venues d'en bas se sont condensées en brouillard. Le lourd cumulus, chargé d'un énorme poids d'humidité, ne dépasse guère 3 kilomètres d'élévation; le plus haut qu'ait mesuré M. Liais se trouvait à 3,100 mètres. En s'entassant les uns sur les autres, les cumulus devenus trop lourds se fondent en un immense *nimbus*, nuage de pluie qui se déploie sur le ciel et s'écroule en averse.

Les cirrus sont des nuelles blanches et fines comme de la laine cardée ou comme des barbes de plume; ce sont les « queues-de-chat » des marins : on les aperçoit toujours à une très-grande hauteur dans le ciel. D'après Kämtz, leur altitude moyenne n'est pas moindre de 6,500 mètres; au-dessus des plus hautes montagnes et des espaces les plus élevés qu'aient atteints les aéronautes, se trouvent encore de ces minces filaments nuageux alignés le plus souvent en rangées parallèles dans la même direction que les vents alizés ou les contre-alizés, ce qui indique la régularité des courants aériens dans les hauteurs de l'atmosphère. Les cirrus sont formés de particules de glace, ainsi qu'ont pu le constater les physiciens par

les phénomènes lumineux de réflexion et de réfraction qui s'y produisent. Quand le cirrus s'abaisse et que les cristaux de glace se fondent, le nuage subit graduellement une modification d'aspect et se change en cirro-stratus ou en cirro-cumulus; dans le premier cas, ses légères fusées s'entremêlent et se confondent en une masse cotonneuse et grisâtre, pronostic d'une pluie prochaine; dans le second, le ciel se peuple de ces petits nuages pommelés qui par le contraste donnent au bleu de l'air une teinte si admirable. Suivant des légendes populaires, ce sont les troupeaux de brebis qui paissent dans les espaces aériens. Raspail leur a donné, suivant leurs aspects variés, les noms charmants de nuages moutonnés, treillagés, guillochés, digités, panachés, striés ou aranéens[1]. Il est du reste impossible d'expliquer ces différentes formes de nuées sans tenir compte, comme l'a fait Peltier, des attractions et des répulsions électriques.

Par la merveilleuse diversité de leurs formes, les nuages sont l'une des grandes beautés de l'atmosphère. Parmi toutes les images, ou formidables ou gracieuses, que peut rêver la fantaisie de l'homme, il n'en est pas une qui ne se retrouve dans les vapeurs de l'espace; par leurs contours fugitifs les nuées ressemblent à des volées d'oiseaux, à des aigles aux ailes éployées, à des groupes d'animaux, à des géants couchés, à des monstres comme ceux de la fable. D'autres nuages sont des chaînes de montagnes aux cimes neigeuses; d'autres encore figurent des villes immenses aux coupoles dorées. Les poëtes voient dans ces groupes des archipels lointains où se trouve ce bonheur tant cherché qui n'existe pas sur terre; les peuples superstitieux, poursuivis souvent par la terreur de leurs propres crimes, y voient des faisceaux d'armures, des chevaux de guerre, des batailles rangées et des massacres. La lumière, jouant dans ce monde fantastique des nuages, en accroît encore l'étonnante variété; sur ces corps flottants brillent toutes les nuances imaginables, depuis le blanc de neige jusqu'au rouge de feu; le soleil les colore successive-

1. *Nouveau système de Météorologie.*

ment de toutes les teintes graduées de l'aurore, du jour et du crépuscule; les prairies et les forêts s'y reflètent par des tons verdâtres, et la mer elle-même s'y reproduit vaguement par une couleur d'éclat métallique, rappelant celle du cuivre ou de l'acier.

III.

Influence des vents sur la formation de la neige et de la pluie. — Répartition des pluies dans les plaines et sur les montagnes.

Toute couche aérienne renfermant de la vapeur d'eau jusqu'au delà du point de saturation doit nécessairement laisser tomber vers le sol une certaine quantité de gouttes ou gouttelettes, qui sont le nuage lui-même. Si l'air était parfaitement calme, ces précipitations d'humidité se feraient toujours d'une manière lente et continue; la terre, enveloppée d'une brume constante, ne serait pourtant jamais arrosée de fortes pluies. Néanmoins, dans presque tous les pays du monde, les nuées et les averses succèdent au beau temps et le beau temps aux pluies, grâce aux vents qui se rencontrent dans l'espace et qui mélangent diversement l'air et l'humidité; ce sont eux qui nettoient l'atmosphère de la surabondance de ses vapeurs et qui déterminent la formation de ces pluies soudaines sans lesquelles la circulation des eaux et le mouvement général de la vie seraient beaucoup moins rapides à la surface du globe. En effet, lorsque deux masses aériennes inégalement échauffées se heurtent et se mélangent, la température de l'air le plus chaud s'abaisse brusquement; par suite, sa capacité pour la vapeur diminue et l'humidité qu'il contient doit se précipiter en pluie. Il est vrai que, de son côté, le vent plus froid se réchauffe et se sature d'une plus grande quantité de vapeurs; mais il n'y a point compensation, car le point de saturation des couches aériennes n'est pas

exactement proportionnel aux températures; si les deux masses en se mélangeant prennent une température moyenne entre les deux extrêmes, par contre, la capacité pour la vapeur se trouve relativement abaissée au-dessous de cette moyenne. De là, l'effet immédiat de précipitation qui se produit d'ordinaire lors du conflit des vents et surtout lors du mélange des contre-alizés équatoriens tout chargés d'humidité, et des vents froids venus du pôle. C'est alors que l'on voit les nuages s'amasser si rapidement dans le ciel pour s'abattre soudain en violentes averses : il suffit de quelques heures, parfois même de quelques minutes, pour que le bleu des airs, où viennent de se rencontrer les deux vents, soit caché par les sombres volutes des nuées d'orage.

A l'Observatoire de Paris, on a constaté que la quantité de pluie tombant sur la terrasse du bâtiment, à 28 mètres de hauteur, est toujours inférieure à la quantité d'eau que l'on recueille dans les cours situées au-dessous. C'est qu'en traversant les couches atmosphériques saturées d'humidité, chaque goutte ne cesse de se grossir en chemin d'autres gouttelettes qui se condensent et, même, lorsque l'air n'est pas complétement saturé, ramènent continuellement à terre l'humidité pluviale qui s'évapore[1]. A Paris, l'écart entre les quantités respectives de pluie qui tombent sur la terrasse et dans la cour est de 60 millimètres environ; au sommet de l'édifice, la tranche annuelle de l'eau de pluie est de 500 millimètres, tandis qu'à la base, cette tranche s'élève en moyenne à 560 millimètres. A Berlin, les quantités respectives de l'eau pluviale tombée sur les toits et dans la cour de l'Observatoire sont un peu plus faibles, mais l'écart est aussi à peu près d'un neuvième.

Toutefois il ne faut point conclure de ces faits que les pluies sont moins abondantes sur les monts que sur les contrées étendues à leur base. Au contraire, les nuages les plus épais flottant presque toujours à une hauteur considérable au-dessus des plaines basses, il en résulte que les pluies les plus

1. Glaisher, *Voyages aériens*, p. 90.

abondantes tombent sur les pentes des montagnes. Poussées par le vent et sollicitées en outre par cette force d'attraction qui fait dévier le fil à plomb dans le voisinage des hauteurs[1], les masses humides se heurtent contre les rochers froids dressés en travers de leur route et se fondent en eau; les ravins et les gorges s'emplissent, tandis que les nuées allégées remontent les versants et franchissent la chaîne par les cols ouverts entre les sommets. C'est là un phénomène que l'on peut facilement observer du haut d'un promontoire avancé, alors que des nuages de tempête roulent en tourbillons dans le ciel, en se portant vers des montagnes situées à leur hauteur. Même quand les plaines inférieures ne reçoivent pas une goutte de pluie, les flancs des monts sont inondés et les torrents se gonflent; arrivés en masses noirâtres ou cuivrées, que l'on dirait solides comme des roches ou du métal, les nuages disparaissent en légères vapeurs grisâtres; longtemps après qu'ils sont passés, on voit encore des fumées transparentes accrochées aux broussailles et aux cimes des arbres : c'est la pluie surabondante qui s'évapore.

Parmi les causes qui déterminent une plus grande précipitation d'humidité sur les montagnes que sur les terres situées à leur base, il faut aussi compter la différence de température existant d'ordinaire entre les cimes et l'atmosphère environnante. Pendant le jour, les pentes exposées à la chaleur du soleil se réchauffent plus que l'air ambiant, du moins par un temps calme; mais les ravins restent souvent beaucoup plus froids et par suite leur contact fait tomber la pluie en refroidissant soudain les couches atmosphériques. Pendant la nuit, et de tout temps, lorsque le vent souffle avec violence, les angles saillants des montagnes deviennent à leur tour beaucoup plus froids que les gorges abritées, et ce sont eux qui condensent les brouillards de l'air et en expriment les pluies. Que de fois, dans les pays de montagnes, alors que le ciel est parfaitement clair et bleu, ne voit-on pas les hautes cimes s'entourer de brumes ou fumer comme des volcans? Ces nues,

1. George P. Marsh, *l'Uomo e la Natura.*

que l'on aperçoit autour des sommets, se trouvaient dans l'air tiède à l'état de vapeurs invisibles : c'est le froid contact des roches ou des neiges qui les a tout à coup révélées. La cime de la montagne annonce ainsi aux habitants des vallées que l'atmosphère est saturée de vapeurs, elle les avertit d'un changement prochain dans la température. Aussi les monts servent-ils constamment d'indicateurs météorologiques aux populations voisines, et dans chaque massif de hauteurs on regarde toujours vers l'un des grands pics pour voir s'il « met son chapeau » de nuages.

Les observations directes recueillies dans les diverses parties du monde ont démontré que, toutes choses égales d'ailleurs, la précipitation annuelle de l'eau de pluie est en raison de l'altitude du pays, du moins jusqu'à une certaine hauteur dans les montagnes [1]. D'après Keith Johnston, la moyenne des eaux pluviales pour les districts de plaines serait en Europe de 575 millimètres par année, et pour les districts montagneux de 1m,300 : c'est à peu près la proportion que l'on observe en Alsace. Dans la vallée du Rhin, la quantité de pluie est en moyenne pendant l'année de 560 à 580 millimètres, tandis que sur les hautes Vosges elle est de 1,100 à 1,200 millimètres [2]. L'Alsace est donc sous ce rapport comme un résumé du continent tout entier. Le Jura, arrêtant au passage les vents qui lui apportent les vapeurs puisées dans l'Océan, les force aussi à laisser tomber leur fardeau d'humidité. En traçant des hauteurs du Charolais aux monts du Jura une ligne transversale à la vallée de la Saône, M. Fournet a constaté que la précipitation annuelle s'accroît assez régulièrement avec les altitudes ; de 696 millimètres sur la rive droite de la Saône, elle augmente graduellement jusqu'aux murs parallèles du Jura ; du côté de l'ouest, elle devient aussi plus forte avec les altitudes : par la hauteur du sol on peut ainsi deviner approximativement la quantité moyenne des pluies.

Sur le versant méridional des Cévennes, où les vents souf-

1. Voir, ci-dessous, p. 385.
2. Ch. Grad, *Hydrologie de l'Ill.*

flent avec tant de fureur à cause des variations rapides de température produites par l'insolation et le rayonnement, la différence qu'on observe entre les tranches annuelles de l'eau de pluie est encore bien plus considérable qu'au pied des

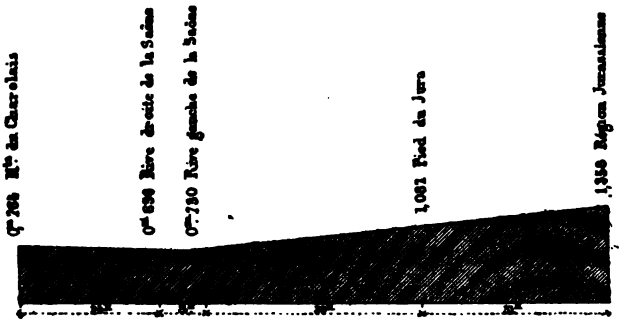


Fig. 127. — Hauteurs de pluie, sur les deux versants de la vallée de la Saône.

autres montagnes de France. Sur la ville d'Arles, la précipitation totale est de 450 millimètres; mais à une centaine de kilomètres au nord, la ville de Joyeuse, située dans la vallée

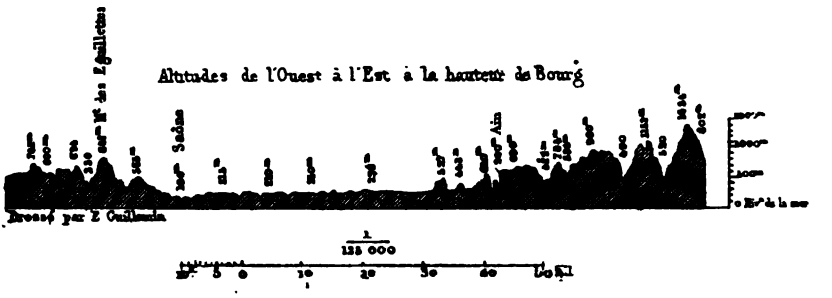


Fig. 128. — Altitudes des deux versants de la vallée de la Saône.

de l'Ardèche, que dominent les montagnes du Tanargue, a reçu en 1811 jusqu'à 1,725 millimètres; le 9 octobre 1827, il y tomba même en 21 heures l'énorme quantité de 792 millimètres d'eau, plus qu'il n'en tombe en moyenne sur le sol de France pendant toute l'année. De là les formidables inondations de l'Ardèche [1]. Il est même une région de cette partie des Cévennes où, d'après la carte de M. Delesse sur la distri-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.

bution des pluies en France, la chute annuelle dépasserait 1,800 millimètres. A l'est dans la vallée du Rhône, que peuvent librement remonter les vents de la Méditerranée, la chute de la pluie est toujours beaucoup moindre et n'atteint nulle part 1 mètre par an.

Sur le flanc des Alpes tourné vers les plaines de l'Italie, on observe des phénomènes analogues. Les montagnes qui cernent au nord le golfe Adriatique reçoivent deux et même en certaines vallées trois fois plus de pluie que les plaines de Padoue et les lagunes de Venise ; mais en Europe, c'est principalement sur les côtes de l'Océan, là où les vents d'ouest et de sud-ouest apportent une si grande quantité de vapeurs, que l'action des montagnes ou même de simples chaînes de collines sur la précipitation de l'humidité se manifeste dans toute son importance géologique. A Lisbonne, la chute annuelle de l'eau de pluie est à peine de 700 millimètres, tandis qu'à Coïmbre, dans une vallée accidentée de l'intérieur, il tombe en moyenne $3^m,430$ d'eau, quantité supérieure à celle qui tombe dans la plupart des contrées tropicales. De même les petites montagnes de Westmoreland, placées en travers de l'espèce d'entonnoir que forme le canal d'Irlande, reçoivent jusqu'à $3^m,850$; dans les années exceptionnelles, cette énorme quantité d'eau de pluie est de beaucoup dépassée, et cependant Liverpool, située également au bord de la mer d'Irlande, ne reçoit, dans le même espace de temps, que 860 millimètres d'eau, soit de quatre à cinq fois moins. Quant aux côtes occidentales de la Norvége, qui se dressent abruptement hors de la mer, elles ne sont pas exposées à des pluies moins abondantes que les collines de Borrowdale et de Kendal, dans la Grande-Bretagne. A Bergen, la chute annuelle de pluie est de $2^m,653$; sans aucun doute, d'autres localités dont les fjords constituent de véritables entonnoirs où s'engouffre le vent du large, tout chargé des vapeurs du Gulf-stream, sont arrosées par une quantité d'eau pluviale plus considérable encore.

Suivant les années, la chute des eaux du ciel varie singulièrement dans les divers pays et les sécheresses succèdent aux périodes pluvieuses avec un désordre apparent. Ainsi, à Aigues-

Mortes, il n'est tombé que 251 millimètres d'eau en 1867, tandis que le sol en avait reçu 1,067 ou quatre fois plus, dix ans auparavant[1]. A Port-Louis, dans l'île Maurice, le mois de février 1861 a donné 1,170 millimètres, tranche liquide plus élevée que celle de l'année moyenne tout entière, qui était seulement de 960 millimètres[2]. Les contrées du monde où la pluie tombe en plus grande abondance sont probablement les côtes de Malabar, celles d'Arrakan et les premières pentes de l'Himalaya. Là tout se trouve réuni pour que la quantité d'eau soit très-abondante pendant la saison pluvieuse : chaleurs tropicales, énorme bassin d'évaporation, hauteur et direction des remparts de montagnes qui retiennent les nuages. L'océan Indien, immense cuve dans laquelle tournoient incessamment les eaux, et dont l'évaporation superficielle est en moyenne plus active que celle de toutes les autres mers du monde, alimente sans relâche des nuages que la mousson porte tantôt vers les côtes de l'Afrique, tantôt vers celles de l'Asie. Là, les montagnes, placées directement en travers du courant aérien, le forcent à s'élever sur leurs pentes et à se mêler ainsi à des couches atmosphériques plus froides; il en résulte un véritable déluge : les masses noires, chargées de pluie, laissent tomber leur énorme fardeau, les vallées sont inondées et les torrents se changent en fleuves.

A Mahabalechvar, lieu de plaisance des Anglais du Malabar, situé à 1,360 mètres d'altitude sur le versant occidental des Ghâtes, la moyenne annuelle de la pluie, établie pour une période de plus de vingt années, est, d'après Schlagintweit, de $6^{m},18$. A Cherra-Ponjee, qui se trouve également à 1,360 mètres, sur les monts Garrows, au sud de la vallée du Brahmapoutrah, et où les jours de pluie se suivent quelquefois sans interruption pendant trois mois et demi, la quantité d'eau versée annuellement par les nuages est beaucoup plus forte[3] : elle est de $15^{m},75$, c'est-à-dire que pendant douze mois il y

1. Lenthéric; documents inédits.
2. Meldrum, *Report of the British association*, 1867.
3. *Reise in Indien*, 1er vol., p. 529.

pleut presque autant que sur Alexandrie pendant un siècle : dans le seul mois de juillet 1857, on y a vu tomber jusqu'à 3m,755. Il est probable que ces énormes abats d'eau sont encore dépassés dans plusieurs vallées de l'Himalaya, car Thomson et Hooker parlent d'une localité où la pluie n'a pas été moindre

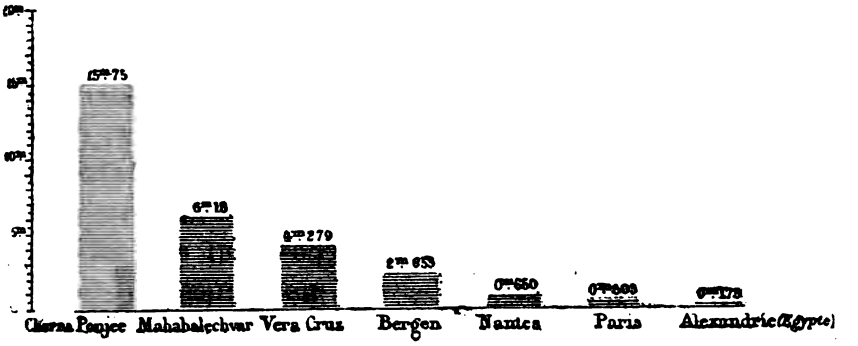


Fig. 129. — Hauteurs de pluie comparées.

de 12m,50 en sept mois, et où un déluge temporaire de quatre heures, semblable à l'écroulement d'une trombe, recouvrit le sol d'une couche liquide évaluée à 760 millimètres; en une seule averse, cette vallée de l'Inde avait donc reçu proportionnellement autant d'eau que la France en reçoit pendant toute une année. D'après Cleghorn, la moyenne de la pluie sur les plaines côtières de l'Hindoustan serait seulement de 1m,80, à peine la huitième partie de ce qui tombe sur les pentes des montagnes de l'intérieur. C'est à l'énorme précipitation de l'humidité des nuages apportés par les moussons que la base des premiers contre-forts de l'Himalaya, inondée chaque année d'au moins 3 mètres d'eau[1], doit d'être bordée de la zone malfaisante du Teraï, dont les voyageurs traversent rapidement les jungles pour échapper à force de vitesse aux fièvres et à la mort. On peut juger de la masse d'eau représentée par ces averses de l'Inde, quand on pense que les seules pluies de 150 millimètres de hauteur totale, tombées en septembre 1868 dans le bassin du Pô, eussent formé un lac de 18 kilomètres cubes; il

1. H. Schlagintweit, *Reise in Indien*, 1er vol.

aurait fallu dix jours et demi pour que cette eau pût s'écouler par un orifice d'un kilomètre de large et de 20 mètres de profondeur, avec une vitesse d'un mètre par *seconde*[1].

Nulle part sans doute, dans les autres régions de la zone torride, la précipitation des pluies n'est aussi considérable. Sur les pentes du Kilimand'jdaro, il pleut presque tous les jours pendant dix mois; mais le voyageur von der Decken, qui fut le premier à constater ce fait météorologique, n'a pu savoir si les pluies y tombent avec autant d'abondance qu'en Hindoustan. Cluny, la localité de l'île Maurice, dans la mer des Indes, où l'on a observé la plus grande chute annuelle de pluie, en reçoit $3^m,61$ seulement, et dans les années très-pluvieuses jusqu'à 5 mètres, et pourtant elle est située à 300 mètres, dans une vallée de montagnes où viennent frapper les moussons humides[2]. Le long du golfe de Guinée, les moussons entraînés vers le continent, ne rencontrant guère de montagnes qui leur fassent obstacle, vont porter leurs pluies au loin dans l'intérieur de l'Afrique. Les Antilles n'ont pas assez de largeur pour empêcher les vents et les nuages d'obliquer à droite et à gauche, et les plus fortes quantités annuelles de pluie que l'on y ait constatées dans les hautes gorges de montagnes n'atteignent pas 10 mètres, 5 mètres de moins qu'à Cherra-Ponjee. Sur les côtes de la Colombie, la chaîne des Andes, relativement peu élevée, et çà et là interrompue par de larges vallées, se présente obliquement à la direction des vents alizés, mais dans l'entonnoir du golfe d'Uraba et sur les forêts presque impénétrables de la province de Choco, les pluies tombent en quantités énormes, qui sont probablement à peine inférieures à celles de l'Himalaya. C'est à cette grande précipitation d'humidité que l'Atrato, fleuve relativement insignifiant par la longueur de son cours, doit de rouler une quantité d'eau plus considérable en moyenne que celle des plus puissants fleuves d'Europe[3]. D'après Maury[4], un

1. Sonrel, *Annuaire de la Société météorologique,* tome XVI, p. 166.
2. Meldrum, *Report of the British association for* 1867.
3. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières.*
4. *Putnam's Magazine,* déc. 1869.

« observateur distingué » aurait même constaté qu'en un « certain point des Andes », la chute annuelle de pluie serait de 34m,77 ; il est vrai que le célèbre météorologiste ne donne ni le nom de l'observateur ni même celui du pays où auraient été constatés ces déluges aériens.

Quoi qu'il en soit de cette différence entre les pluies sous les divers climats, ce phénomène d'une plus grande chute des eaux du ciel sur les pentes des montagnes que dans les

RÉPARTITION DES PLUIES DANS LE DISTRICT DES LACS DE CUMBERLAND.

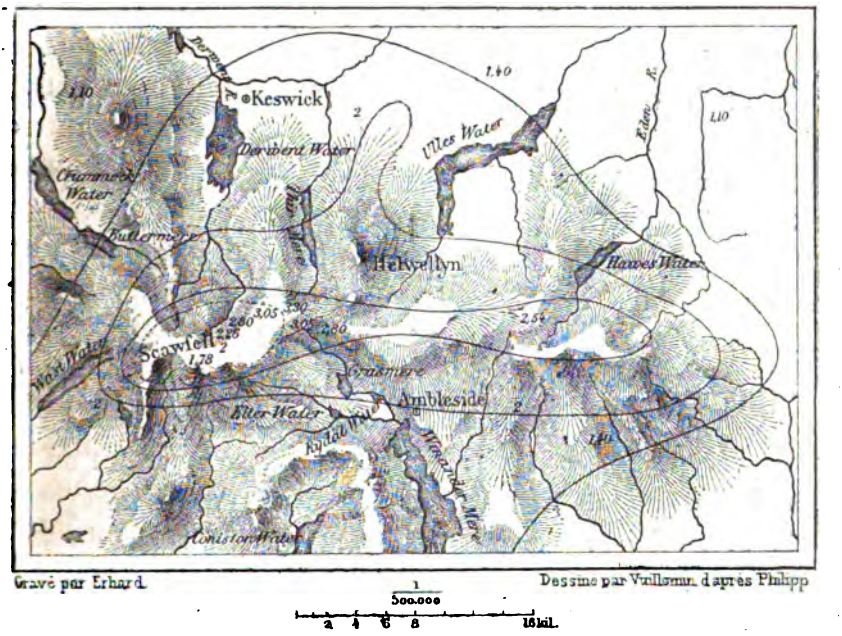


Fig. 180.

plaines est un fait général sur toute la terre : on l'observe dans les Indes comme en Europe, en Patagonie comme dans les Antilles. Toutefois il ne faut point en conclure que la précipitation de l'humidité augmente d'une manière indéfinie en raison de la hauteur des montagnes, et que les cimes reçoivent toujours sous forme de neige ou de pluie la plus forte quantité d'eau. Au contraire, il est certain qu'au-dessus de la zone où planent ordinairement les nuages les plus épais, la pluie diminue par degrés. M. John Philipps a établi ce fait pour le dis-

trict du Scawfell, dans la région lacustre du nord de l'Angleterre[1]; mais, dans la plupart des contrées du monde, le manque d'observations précises empêche d'indiquer l'altitude moyenne de la zone de plus grande précipitation, et par conséquent l'on ne peut encore déterminer les lois de la répartition des pluies dans le sens vertical. Des recherches faites avec méthode sur les mouvements des nuages fourniront peu à peu les éléments nécessaires et permettront de désigner sur chaque versant de montagne l'endroit où tous les ans la plus forte quantité de vapeur doit se transformer en eau.

Dans les Alpes de la Suisse, cette zone de plus grande précipitation est assez élevée, car le volume total d'eau de neige et de pluie qui tombe annuellement au col du grand Saint-Bernard dépasse de plus de 1 mètre celle que l'on recueille à Genève au pied des montagnes; en bas, elle est de 825 millimètres seulement, tandis que sur le col neigeux elle est en moyenne de $1^{m},990$. Quant aux versants des monts que ne viennent point frapper les vents pluvieux, et aux plateaux qu'entourent des rebords élevés, ils ne reçoivent en général qu'une très-faible proportion de pluie, et nombre d'entre eux sont, par suite du manque d'eau, transformés en de véritables déserts[2] : les cimes qui se dressent en travers des courants atmosphériques arrêtent les nuages en route et ne laissent passer que des vents allégés de leurs vapeurs. Ainsi, tandis que chaque vallée des Pyrénées cantabres roule une rivière assez considérable, d'où le nom basque des Asturies, qui signifie « Pays des Torrents », les plateaux de Castille, défendus au nord contre les courants pluvieux venus du golfe de Gascogne, ne sont parcourus que par de maigres ruisseaux; plus au sud encore, les plaines de la Manche, abritées par de nombreuses rangées parallèles, monts de Guadarrama, de Tolède, de Gredos, sont presque entièrement sans eau, et le Guadiana, malgré la longueur de son cours, n'est qu'une rivière peu importante. Il en est de même

1. *Report of the thirty eigth meeting of the British association*, 1869.
2. Voir, ci-dessous, page 399.

en Colombie. Sur les côtes abruptes où viennent se heurter les vents alizés, la couche moyenne d'eau de pluie est évaluée à $2^m,54$ par année, et sur les plateaux de l'intérieur elle paraît être de $1^m,50$ seulement. A Bogotà, au centre du plateau de Cundinamarca, elle est de $1^m,107$, à peine autant que sur les hautes Vosges, sous le climat tempéré de l'Europe [1]. Enfin, les pluies des hautes plaines du Dekkan, sur le versant oriental des Ghâtes, seraient considérées comme insuffisantes dans la plupart des contrées d'Europe, où l'évaporation est pourtant bien moindre qu'en Hindoustan. Tandis qu'à Mahabalechwar, la hauteur d'eau tombée est de $6^m,18$, elle n'est plus que de $4^m,32$ à Malcolm-Pet, situé à 7 kilomètres de distance seulement dans l'intérieur; à 16 kilomètres plus loin, à Panchgami, la chute annuelle de pluie est de $1^m,52$; à Pounah, situé sur le plateau, immédiatement à l'est des montagnes qui dominent Bombay, elle est de 600 à 900 millimètres, et dans certaines parties du Dekkan elle est inférieure à un demi-mètre d'eau [2].

IV.

Pluies tropicales. — Saisons pluvieuses et saisons des sécheresses. Régularité des pluies.

La forme et le relief des terres, ainsi que la situation qu'elles occupent relativement à l'étendue de l'Océan, ne sont point les seuls faits qui influent sur la plus ou moins grande précipitation des pluies dans les diverses contrées; il faut aussi tenir compte de la température. Toutes choses égales d'ailleurs, il pleut d'autant plus dans un pays qu'il est plus rapproché de l'équateur, car l'évaporation s'accroît avec la chaleur du soleil, et par suite la condensation de l'humidité

1. Agostino Codazzi; — Caldas; — Illingworth.
2. Schlagintweit, *Reise in Indien*, 1er vol. p. 104, 105.

produite par le conflit des vents rend à la terre une plus grande quantité d'eau. Plus brûlante que les zones tempérées, la zone tropicale est aussi plus arrosée de pluies; de même les zones tempérées reçoivent proportionnellement plus d'humidité que les deux zones polaires.

Entre les tropiques, les pluies suivent avec une assez grande régularité la marche apparente du soleil dans les cieux, et la saison pendant laquelle elles tombent sur le sol se trouve ainsi nettement limitée. En effet, les vents alizés se chargent d'une énorme quantité de vapeur d'eau en passant au-dessus des mers de la zone torride; mais leur température augmentant à mesure qu'ils se rapprochent de l'équateur, ils acquièrent une capacité de plus en plus grande pour l'humidité et gardent leur sécheresse relative. Toutefois, dès que les vents réguliers du sud-est et du nord-est sont arrivés à leur point de rencontre dans la zone équatoriale, les choses changent brusquement : les deux courants aériens montent ensemble dans les hautes régions de l'atmosphère, leur température diminue, la vapeur dont ils sont saturés se condense, de puissantes assises de nuages se forment au-dessus de la zone des calmes et se précipitent en pluies diluviennes. L'eau qui tombe du ciel s'abat alors en si grande abondance que souvent les marins ont pu recueillir à la surface de l'Océan l'eau douce qui leur était nécessaire. Les navigateurs anglais ont donné à ces parages, appelés aussi « doldrums », le nom expressif de marais (*swamp*), comme si la mer y était changée en une nappe d'eau saumâtre; pour les Français, la région tout entière est devenue le *Pot-au-Noir*, probablement à cause de ces averses soudaines et des vents irréguliers qui succèdent à la précipitation des pluies, surtout dans la région comprise entre le 1° et le 4° de latitude nord et le 20° et 25° de longitude ouest, au large de la côte de Guinée[1]. La zone de nuages qui s'étend ainsi d'une manière plus ou moins continue sur toute la partie maritime de la rondeur terrestre est sans doute visible des astres voisins, et doit

1. D'Avezac, *Relation authentique du voyage du capitaine de Gonneville.*

ressembler à ces bandes blanchâtres que découvrent nos télescopes sur la planète Jupiter.

Le va-et-vient de la zone des nuages avec la course du soleil sur l'écliptique fait alterner régulièrement la saison des sécheresses et celle des pluies dans les régions tropicales. Ainsi les Antilles et les républiques de l'isthme se trouvent successivement sous la grande ceinture des nuages pluvieux et dans le domaine des vents secs. Pendant les mois de juin, juillet, août, le soleil, entraînant au-dessous de lui l'immense voile de vapeurs, est au zénith des contrées voisines du tropique septentrional : c'est alors la saison dite de l'*hivernage*, les vapeurs recouvrent le ciel, les pluies s'épanchent en abondance. Ainsi qu'on peut le voir par la comparaison des pluies à Vera-Cruz et sur les côtes de la Louisiane et de la Floride, la quantité d'eau tombée dans la zone d'hivernage dépasse du double ou du triple la proportion moyenne reçue par les pays limitrophes situés en dehors. En septembre, quand la ceinture de nuages est redescendue vers le sud, les vents alizés reprennent leur marche normale dans

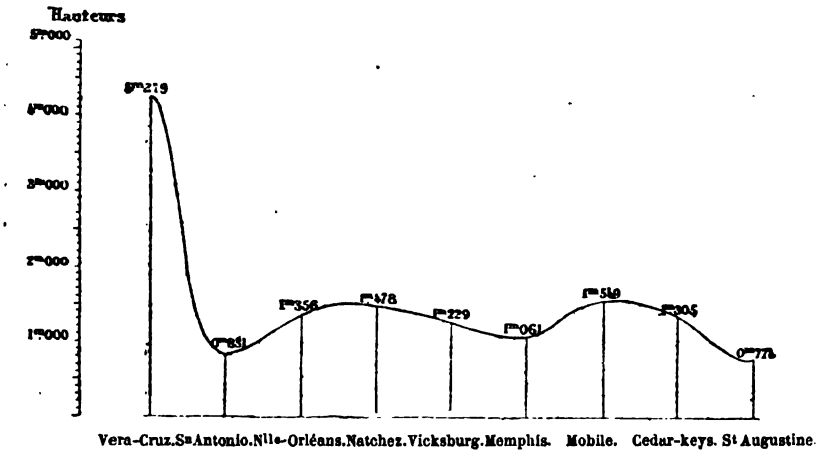


Fig. 131. — Pluies autour du golfe du Mexique.

la direction de l'équateur; ils absorbent l'humidité des terres et de la mer et vont la porter plus loin aux contrées qu'abrite la zone de nuages : c'est alors la saison sèche dans les Antilles et le Guatemala.

En Colombie, l'année se divise en quatre périodes : deux saisons sèches et deux saisons humides, produites aussi par le balancement de la zone pluvieuse. Pendant l'hiver de l'hémisphère boréal, la ceinture de calmes pénètre dans l'hémisphère opposé, et s'étend en largeur du 2e degré de latitude nord au 5e degré de latitude sud. Alors la Nouvelle-Grenade se trouve encore sous le régime des alizés du nord-est, le ciel est pur et sans nuages : c'est le printemps, le *verano;* il ne pleut que dans les vallées des montagnes qui se dressent au travers de la marche des vents. Vers le mois de mai et de juin, la ceinture des calmes est ramenée au nord, elle passe au-dessus des plateaux grenadins en les inondant de pluies : c'est le premier hivernage, l'*invierno.* Mais les masses nuageuses continuent leur marche vers le nord et s'arrêtent seulement après avoir atteint le 12e ou même le 15e degré de latitude septentrionale; alors les plateaux se trouvent pour la seconde fois en dehors de la zone de précipitation et subissent l'influence de vents avides d'humidité, qui portent avec eux une nouvelle saison sèche. Enfin, vers les mois de novembre et de décembre, la ceinture de calmes traverse de nouveau la latitude de Bogotà, et la terre altérée reçoit derechef les pluies du ciel jusqu'à ce que la large bande de nuages ait disparu dans la direction de l'équateur [1].

Au sud des contrées où les deux passages annuels de la zone nuageuse déterminent l'alternance d'un double hivernage et d'un double été, se produisent des phénomènes analogues à ceux des Antilles et du Guatemala. Dans les régions du haut Amazone comme dans l'Amérique centrale, il n'y a que deux saisons, celle des pluies et celle des sécheresses; mais ces saisons se suivent dans l'ordre inverse : quand il pleut d'un côté, le ciel est azuré de l'autre; quand les sécheresses règnent au sud, les terres sont inondées au nord. D'ailleurs, dans l'un comme dans l'autre hémisphère, l'époque normale et l'abondance des pluies sont diversement modifiées par la forme des

1. Maury, *Geography of the Sea.*

côtes, le relief des plateaux et des montagnes de l'intérieur, les alternatives des moussons. Ainsi, dans la péninsule de l'Hindoustan, les grandes pluies tombent en juin et en juillet à Calcutta et à Anjarakandy, sur la côte de Malabar; à Madras, le maximum est en novembre.

Par un remarquable contraste, c'est précisément à l'époque

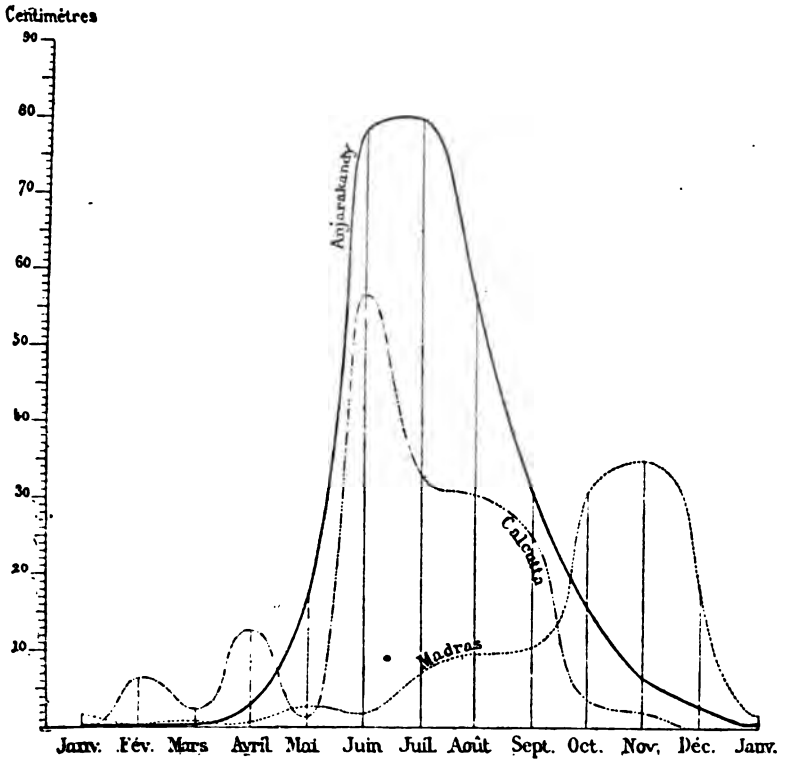


Fig. 132. — Hauteurs de pluie mensuelles à Anjarakandy, Calcutta et Madras; d'après Kämtz.

de l'année où les chaleurs devraient être le plus fortes, que l'atmosphère des contrées tropicales se trouve le plus rafraîchie par la précipitation de pluies abondantes. Étendus comme un immense voile, les nuages garantissent la terre des ardeurs du soleil, qui est alors au plus haut du ciel. La saison de l'hivernage, pendant laquelle la température est souvent plus basse que pendant la saison des chaleurs, n'en est pas moins le véritable été au point de vue astronomique. On peut juger

de l'influence que les pluies tropicales exercent sur la température par la figure suivante, dont les deux lignes représentent, l'une les hauteurs mensuelles de l'eau pluviale à Anjarakandy, et l'autre les oscillations thermométriques. Ainsi le balancement de la zone des nuages a pour résultat d'égaliser les chaleurs annuelles et de tempérer les ardeurs d'un été

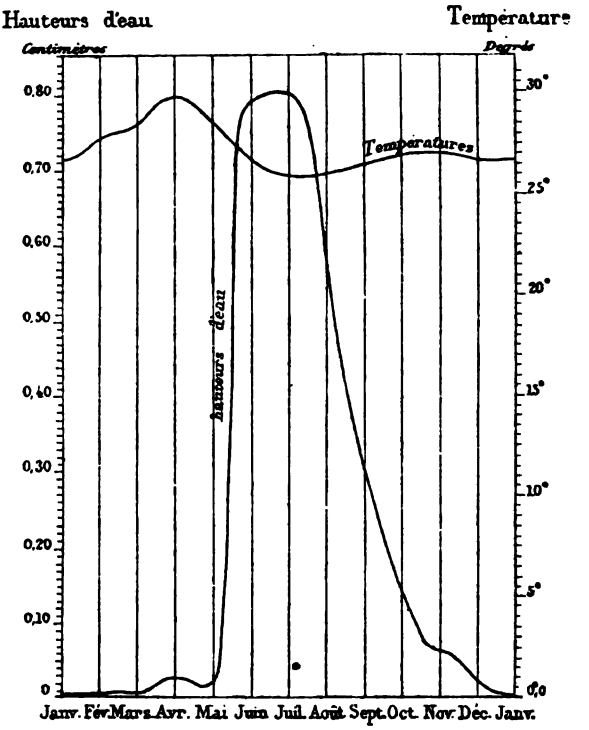


Fig. 133. — Hauteurs de l'eau pluviale à Anjarakandy et températures correspondantes; d'après Kämtz.

qui pourrait être dans la zone tropicale tout entière ce qu'il est dans le Sahara. Il est vrai que souvent on se sent beaucoup plus oppressé dans la saison pluvieuse que dans la saison des plus grandes chaleurs, à cause de la moiteur énervante de l'atmosphère.

Il ne faut pas croire, du reste, que, pendant la durée des pluies tropicales, l'humidité se précipite d'une manière constante ou même fréquemment à toutes les heures du jour et de la nuit. Au contraire, dans la plupart des régions équatoriales, les pluies obéissent à une sorte de rhythme. D'ordinaire, elles

ne commencent que l'après-midi, parce que, durant la nuit et la matinée, l'atmosphère n'a pas encore eu le temps de se saturer complétement de vapeurs; mais, quand l'air ne peut plus absorber d'humidité, l'orage éclate avec violence au milieu de nuages rapidement condensés. Sur plusieurs points du littoral de la mer des Antilles, en Colombie et au Mexique, le ciel commence à déverser son fardeau de pluies vers deux heures de l'après-midi; mais l'averse est attendue, et d'avance tous les préparatifs sont pris pour se mettre à l'abri; dans la soirée, on peut sortir de nouveau sans crainte. De même dans certaines parties du Brésil tropical, les heures de l'orage quotidien sont si bien prévues que l'on peut fixer les rendez-vous à la fin de la pluie, comme ailleurs on s'en donne à la chute du jour. Cependant il est des contrées tropicales, plus abondamment arrosées, où les averses de chaque jour durent jusqu'à une heure avancée de la nuit et même jusqu'au matin. Sur la haute mer, dont l'immense nappe d'évaporation peut saturer sans relâche l'atmosphère surincombante, les pluies sont aussi de plus longue durée que sur les continents : souvent elles ne cessent de tomber pendant des journées entières.

V.

Pluies en dehors des tropiques. — Pluies d'hiver; pluies de printemps et d'automne; pluies d'été; pluies des régions polaires.

Au nord et au sud de la zone des alizés, les pluies, comme les vents, offrent beaucoup moins de régularité que dans la région des calmes équatoriaux, soit pour la quantité d'eau tombée, soit pour l'époque et la durée de la saison pluvieuse. C'est dans l'hémisphère boréal surtout que la précipitation des vapeurs de l'air s'accomplit d'une manière inégale, car la rondeur terrestre y est plus accidentée que partout ailleurs par les contours si variés des continents, par les îles éparses, par

les mers intérieures, par les chaînes de montagnes parallèles, obliques ou transversales aux vents. Aussi est-il très-difficile en plusieurs contrées de discerner nettement l'ordre général dans lequel se succèdent les pluies, et tant qu'on n'y aura pas fait de consciencieuses observations pendant une longue série d'années, régnera l'incertitude à cet égard. Même pour les pays les mieux étudiés, les assertions des savants sont encore loin de s'accorder : ainsi, d'après Martins, la chute moyenne des pluies serait en France de 681 millimètres seulement, tandis que, d'après Vallès, elle serait de 719 millimètres et de 770 millimètres d'après Delesse.

Cependant les registres tenus dans les diverses stations météorologiques de l'hémisphère du nord suffisent déjà pour faire voir quelle est la répartition normale des pluies en deçà du tropique septentrional. Au nord de la limite changeante où commencent les vents alizés, et jusqu'à la latitude moyenne de 40 degrés, les pluies tombent presque exclusivement pendant l'hiver; autour du bassin de la mer Tyrrhénienne et sur les côtes de l'Europe occidentale, elles se répartissent dans toute l'année; mais c'est en automne surtout qu'y a lieu la plus grande précipitation d'humidité; plus au nord, c'est l'été qui est la saison pluvieuse par excellence; enfin, dans les contrées polaires, c'est en hiver que la condensation des nuages produit le plus de neiges et de pluies.

La marche des vents est la véritable cause de cette inégale répartition de l'eau du ciel suivant les diverses parties de l'année, car en dehors de la zone équatoriale la plupart des pluies ne se forment point sur place, pour ainsi dire, par la condensation des vapeurs ascendantes, mais elles sont apportées de loin par les courants de l'atmosphère. Pendant l'hiver de l'hémisphère boréal, tout le système des vents alizés est attiré vers le sud à la suite du soleil, et par conséquent les contre-courants aériens qui retournent vers le pôle arctique peuvent redescendre à la surface du globe dans le voisinage du tropique du Cancer [1]. Les vapeurs dont ces vents sont

1. Voir, ci-dessus, p. 299.

chargés se condensent alors en pluies, par suite du mélange de l'air qui les porte avec d'autres masses atmosphériques plus froides : c'est la saison pluvieuse. Mais que le soleil se rapproche de l'équateur, en ramenant avec lui vers le nord tout le système des vents, les contre-alizés du sud-ouest ne peuvent plus alors s'abaisser que vers le milieu de la zone tempérée ; le ciel se rassérène dans les régions qu'ils avaient inondées de pluie ; une période relativement sèche commence au printemps et dure jusqu'à ce que le soleil ait de nouveau franchi l'équateur vers les terres australes. Cette alternance des saisons s'accomplit avec une grande régularité sur les côtes de la Californie et de l'Orégon, à Madère, en Algérie, sur les côtes du Portugal. C'est ainsi qu'à Lisbonne il tombe seulement en juillet 4 millimètres et demi de pluie, tandis qu'en décembre la précipitation totale est de 124 millimètres. A Naples, à Rome même, les sécheresses estivales, rarement troublées par les averses, succèdent aux pluies de l'hiver.

Quant à la région des pluies de printemps et d'automne, elle doit embrasser les contrées sur lesquelles plongent les alizés de retour à l'époque où le soleil, dans sa marche sur l'écliptique, se trouve au zénith de l'équateur : c'est la période équinoxiale de mars ou de septembre. Dans certains pays du midi de l'Europe, et notamment en Provence, on remarque en effet que les pluies sont plus abondantes au printemps et en automne ; même en Alsace, la plus forte quantité d'eau tombe au printemps et s'écoule dans les affluents du Rhin, ainsi que le montre la figure 134, empruntée à un ouvrage de M. Charles Grad [1] ; mais, sauf quelques exceptions, le maximum d'automne est en général le plus élevé des deux, et celui du printemps finit par disparaître en entier dans la direction du nord. Les côtes occidentales de la France et des Iles-Britanniques sont comprises dans cette zone où prédominent les pluies automnales. Il faut chercher sans doute la cause de cet excès de précipitation pendant la saison d'automne dans ce fait que, sous l'influence des divers courants atmosphériques

1. *Hydrologie de l'Ill.*

et maritimes, l'abaissement de la température s'accomplit,

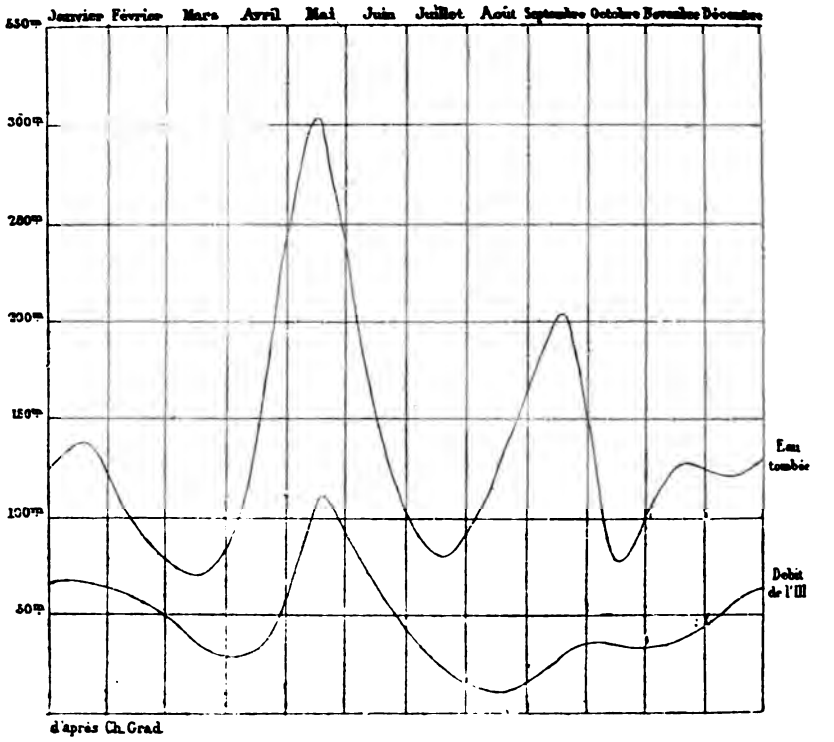
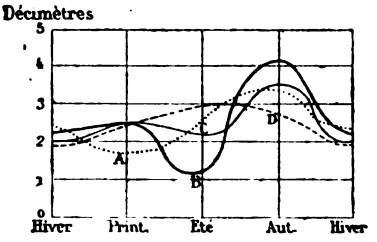


Fig. 134. — Hauteur d'eau tombée dans le bassin de l'Ill pendant l'année 1856, et débit moyen de la rivière mesurés en mètres cubes.

après les chaleurs de l'été, d'une manière relativement brusque : la marche descendante du thermomètre en automne est



A. *France occidentale.* D. *France orientale.*
B. *Bassin du Rhône au sud de Viviers.* C. *Bassin du Rhône au nord de Viviers.*

Fig. 135. — Pluie d'automne de la France ; d'après Kämtz.

plus rapide que ne l'est la marche ascendante au printemps. C'est là ce qui ressort de la lecture de la plupart des tables

météorologiques tenues dans les contrées de l'Europe et de l'Amérique septentrionale.

Plus au nord, dans la zone tempérée, ce n'est pas en automne, c'est en été que les pluies arrosent la terre avec la plus grande abondance. Dans toute l'Europe centrale, des Vosges à l'Oural, et par delà ces monts, en Sibérie, la grande

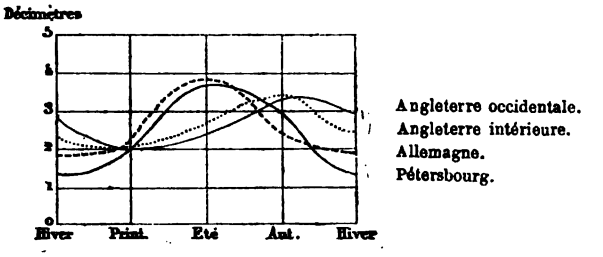


Fig. 136. — Pluies d'automne et pluies d'été des régions tempérées de l'Europe; d'après Kämtz.

précipitation d'humidité a lieu surtout dans la partie la plus chaude de l'année. C'est que le soleil, se trouvant alors au-dessus de la zone tropicale du Cancer, a ramené vers le nord le système entier des alizés et des contre-alizés; ces derniers ne s'abaissent donc à la surface de la terre que dans les hautes latitudes, et là seulement se produit, par suite de leur conflit avec les vents froids des régions polaires, cet accroissement notable de pluie dû à l'apport des vapeurs tropicales.

De l'autre côté de l'équateur, c'est dans l'ordre exactement inverse que les contre-alizés du nord-ouest, voyageant avec le soleil, déterminent la plus forte précipitation d'humidité sur les contrées vers lesquelles ils s'abaissent. Quant aux neiges des deux zones polaires, elles tombent surtout en hiver, c'est-à-dire pendant la grande nuit qui dure plusieurs mois, car la température est alors trop basse pour conserver l'humidité que lui apportent les vents équatoriaux. Mais en maintes régions de ces zones les vents doivent arriver déjà très-appauvris, car des explorateurs arrivant sur une côte ont encore retrouvé sur la neige les pas de leurs devanciers après plus d'un an d'intervalle.

VI.

Contrées sans pluies. — Action géologique des pluies. — Contraste des deux hémisphères.

Ainsi, dans presque toutes les parties de la terre, de l'équateur aux pôles, les pluies se distribuent avec une certaine régularité, suivant les saisons. En plusieurs régions elles tombent exclusivement pendant une période fixe de l'année, en d'autres pays l'alternance n'est pas nettement tranchée entre la saison pluvieuse et la sécheresse. Il pleut souvent pendant les mois d'hiver aussi bien que pendant les mois d'été ; mais on observe une oscillation régulière entre les deux périodes de plus forte et de moindre précipitation. Il est aussi des contrées où les pluies manquent presque tout à fait ; elles se trouvent précisément situées pour la plupart dans le voisinage de l'équateur et des tropiques, là où les eaux, échauffées par le soleil, fournissent à l'atmosphère la plus forte quantité de vapeur.

Dans les régions qui s'étendent, comme le littoral du Pérou, à la base des grandes arêtes de montagnes dressées sur le passage des vents pluvieux, la sécheresse constante de l'atmosphère doit être attribuée uniquement à la forme du relief planétaire. Il suffit parfois de franchir un simple col pour constater l'énorme différence qui existe au point de vue météorologique entre les deux versants : d'un côté, les vents, chargés d'humidité, laissent tomber fréquemment leur fardeau de pluies ; de l'autre côté, les courants aériens, allégés de leurs vapeurs, et réchauffés par la réverbération des rochers blancs et de la terre nue, absorbent au contraire avec avidité le peu d'eau qui coule dans les vallées. Les alizés du nord-est et du sud-est, qui déversent sur les pentes orientales des Cordillères une quantité de pluies assez abondante pour former le

Japura, le Putumayo, le haut Marañon, l'Apurimac, le Mamoré et tant d'autres puissants tributaires du magnifique courant des Amazones, ne laissent plus tomber une seule goutte d'eau sur le versant occidental, çà et là transformé en désert, et parcourent la surface du Pacifique jusqu'à une grande distance au large, avant d'avoir recueilli assez de vapeur pour que de nouvelles pluies puissent se former. Sur les côtes du Pérou, l'air est souvent brumeux; mais, à travers ce voile blanchâtre, on distingue toujours le bleu du ciel; l'apparition d'un nuage est un véritable événement, et la population s'assemble pour contempler dans l'espace ce spectacle insolite. Sur les rivages occidentaux du Mexique, où le régime des vents est beaucoup moins régulier que dans l'Amérique du Sud, les troubles atmosphériques occasionnent parfois la chute de rapides averses; mais, comme au Pérou, la grande masse des eaux de pluie est retenue par les plateaux et les montagnes qui se dressent à l'est, sur le passage des alizés et des moussons. Plus au nord, c'est dans l'ordre inverse que se produisent les phénomènes météorologiques. Les vents pluvieux qui viennent frapper les cimes du Coast-Range et de la Sierra-Nevada sont les contre-alizés du sud-ouest; ils arrosent abondamment le versant tourné vers le Pacifique; mais au delà des montagnes Rocheuses ils sont complétement desséchés et les déserts du Texas, du Nouveau-Mexique, du Colorado, seraient absolument sans eau, si les moussons du sud n'y apportaient quelque humidité. La quantité moyenne de pluie qui tombe dans les solitudes, à l'ouest du Mississipi, est évaluée à 5 centimètres seulement[1].

Dans le voisinage des tropiques, et même assez loin dans la zone tempérée, il est d'autres régions librement parcourues par des vents chargés de vapeurs et néanmoins très-rarement arrosées par les pluies. Une large zone de terre presque sans eau s'étend en diagonale à travers l'ancien monde, des plaines occidentales de l'Afrique aux plateaux de la Chine orientale. Cette zone, disposée en un immense arc de cercle dont la concavité est tournée vers le nord-ouest, comprend

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Plaines*.

une grande partie du Sahara, les déserts de l'Égypte et de l'Arabie, les hautes terres de l'Iran, diverses contrées de la Tartarie et de la Chine, le plateau de Cobi. Dans l'hémisphère austral, les trois continents, l'Afrique, l'Australie et l'Amérique du Sud ont aussi chacun leur zone de terres sèches située dans le voisinage du tropique méridional : en Afrique, c'est le désert de Kalahari; en Australie, ce sont les solitudes redoutables que les explorateurs ont eu à traverser pour se rendre des colonies du sud au golfe de Carpentaria; dans l'Amérique, ce sont les déserts salins situés à l'ouest des Pampas. Si ces diverses contrées, au nord et au sud de l'équateur, sont ainsi privées des eaux de pluie, la cause en est principalement aux vents alizés qui, dans leur marche régulière à travers les continents absorbent constamment de nouvelles quantités de vapeurs à mesure qu'ils se rapprochent de la zone des calmes équatoriaux et que leur température s'accroît. D'ailleurs il serait bien difficile de tracer la limite qui sépare la zone des régions dépourvues de pluies et celles où la précipitation s'accomplit régulièrement, car sur tout le pourtour des terres à sécheresses prolongées les moussons forment une sorte de bordure inégale et changeant avec les années. En outre, les plateaux et les groupes de montagnes placés au milieu des régions désertes, le Djebel-Hoggar dans le Sahara, le Demavend au nord de la Perse, le massif d'Aconquija, à l'ouest des pampas argentines, dressent leurs sommets dans les hauteurs de l'air et forcent les vents refroidis à leur céder une partie des vapeurs entraînées vers la zone équatoriale. Quant au plateau de Cobi, situé en grande partie en dehors de la zone des alizés, c'est à cause des montagnes qui l'entourent et de l'éloignement des mers que le climat y est d'une telle sécheresse.

Ainsi que le montre l'aspect de tous les déserts, la pluie est le grand agent géologique à la surface du sol. Les puissantes entailles ouvertes sur les bords des plateaux et dans les flancs des monts sont dues pour la plupart à l'action des masses liquides qui délayent les argiles, entraînent les sables, déchaussent les rochers et les poussent devant elles en les faisant servir à la destruction des berges. Dans toutes les contrées

pluvieuses dont le relief est fortement accidenté, il est absolument impossible de reconnaître quel était l'aspect primitif du pays, tant les pluies ont sculpté à nouveau les inégalités et les fissures produites antérieurement par d'autres agents. Ainsi dans la plupart des contrées volcaniques, et notamment à l'île de la Réunion, les anciens cratères ont été ravinés, déchirés

LES CRATÈRES RAVINÉS DE LA RÉUNION.

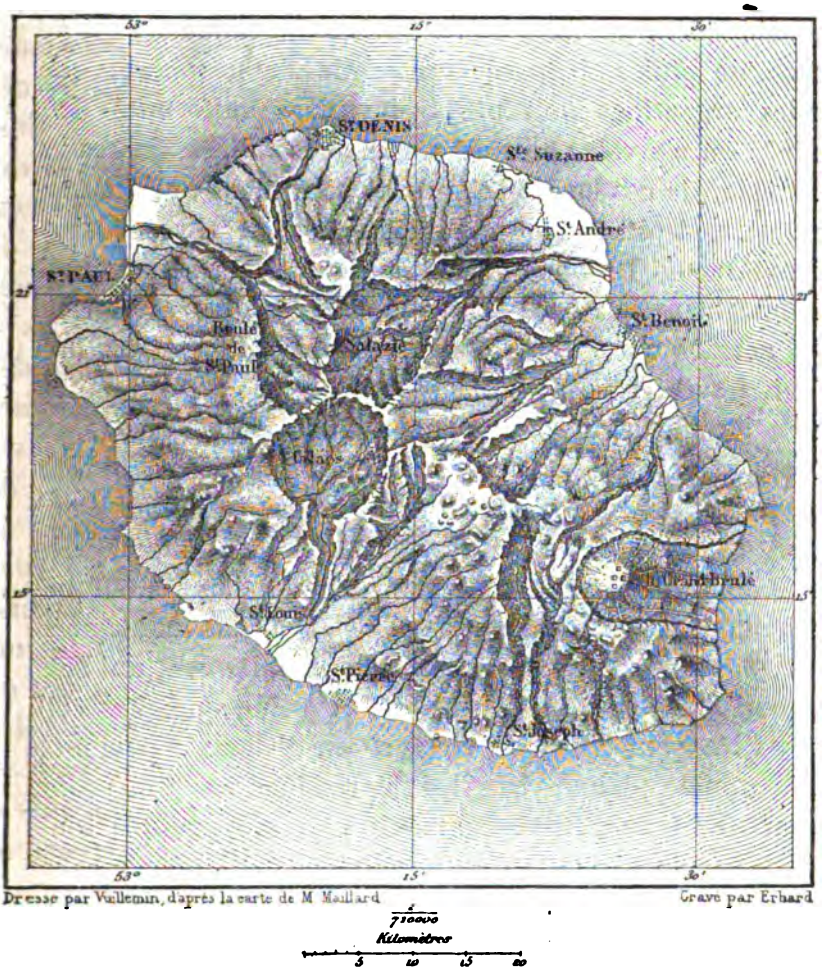


Fig. 137.

par les pluies, et finalement transformés en cirques pareils à des cirques d'érosion. D'après Lyell, le val del Bove, ouvert sur le versant oriental de l'Etna, serait aussi un ancien gouffre

volcanique dont les pluies auraient détruit l'une des parois[1]. Dans l'île de Barbadoes, les orages qui fondent sur la partie septentrionale ont tellement labouré le sol qu'elles ont fait disparaître les traces des falaises de tous les anciens rivages, tandis que, de l'autre côté de l'île, les plateaux soulevés à diverses époques se succèdent les uns aux autres comme les degrés d'un cirque[2].

Là où les pluies manquent, le relief de la terre présente une singulière monotonie sur de vastes étendues. C'est à l'absence de pluies, à la sécheresse de l'atmosphère, que les Andes argentines doivent la singulière uniformité de leur relief : on n'y voit point de ces longues vallées, de ces ravins profonds, de ces larges cirques d'éboulement qui donnent un caractère si pittoresque à l'architecture des Pyrénées et des Alpes. Depuis l'époque où les eaux de la mer se sont retirées en entraînant à la base de ces montagnes du nouveau monde les énormes amas de cailloux roulés que l'on y voit aujourd'hui, les neiges et les pluies ne sont pas encore tombées en assez grande abondance pour raviner les déclivités et les découper en vallées et en contre-forts. D'en bas, le rempart des monts présente l'aspect d'une muraille uniforme et noirâtre, au-dessus de laquelle se dressent çà et là quelques pics rayés de stries blanches. Le plateau, de 4,000 à 4,300 mètres de hauteur moyenne, sur lequel s'élèvent ces montagnes isolées est, en maints endroits, presque parfaitement uni sur une largeur d'environ 80 kilomètres. A peine quelques collines basses rompent-elles, de distance en distance, la monotonie de la grande plaine; dans les dépressions les plus profondes se montrent de petites lagunes d'une eau presque toujours très-saline; la végétation est absolument nulle, non à cause de l'intensité du froid, mais à cause de la sécheresse de l'air et de la violence du vent qui souffle dans ces hautes régions; une seule plante croît à 4,000 mètres, la *llareta*, espèce de lichen à forte racine, étalée sur les roches comme une moisis-

1. *Philosophie Transactions*, 1858. — Voir, dans le premier volume de *la Terre*, le chapitre intitulé *les Volcans*.

2. Robert Schomburgk, *The History of Barbadoes*.

sure verte. A peine échappées aux nues, les rares neiges tombées sur ces hauteurs se fondent ou s'évaporent. Au milieu du jour, ces vapeurs de neige s'élèvent en nuelles, qui vont se perdre à de grandes hauteurs dans l'atmosphère bleue; on dirait des fusées d'artifice montant dans les cieux [1]. L'air de ces régions est parfois tellement sec que la peau des voyageurs se fendille et que leurs ongles se brisent comme verre [2].

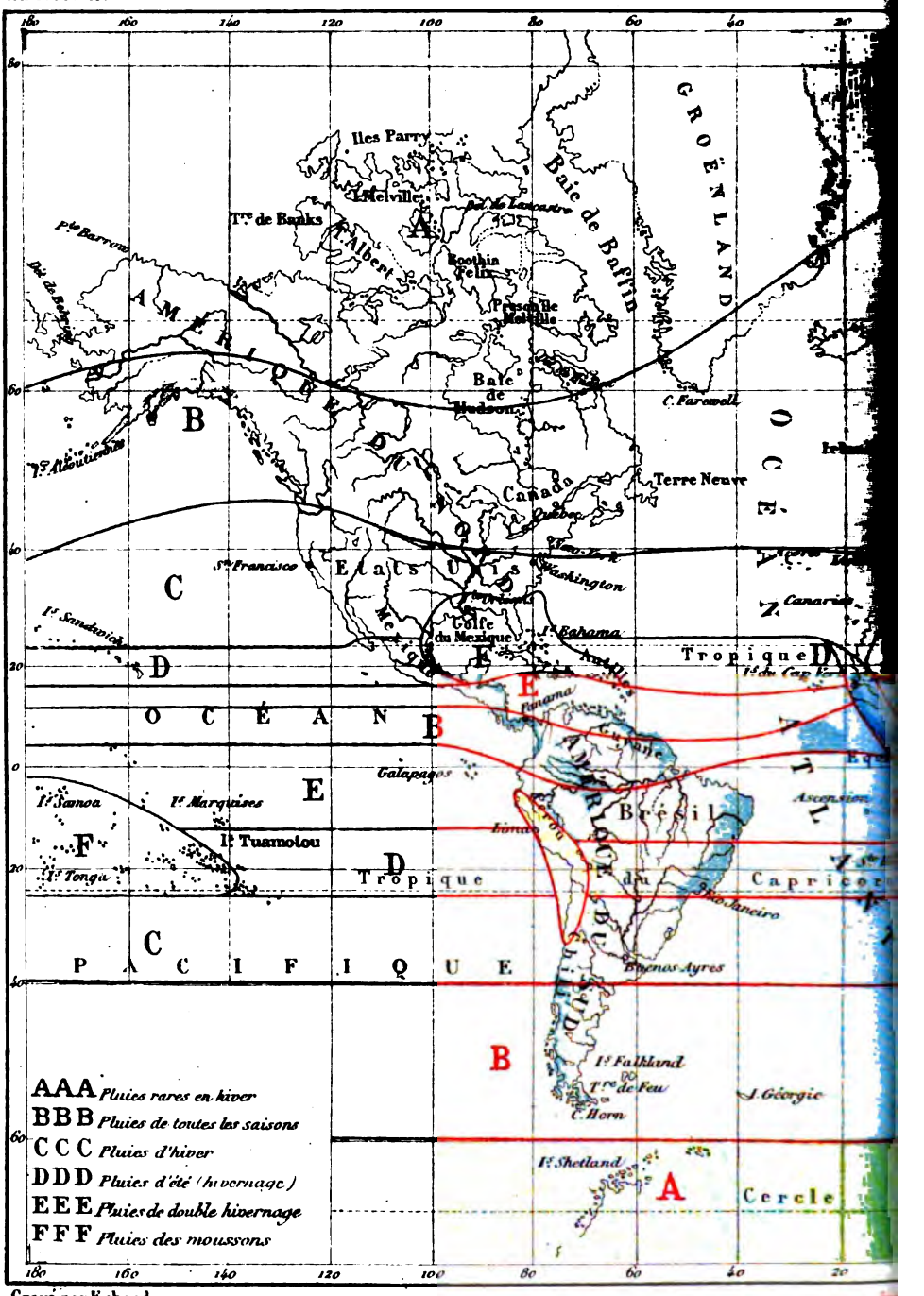
C'est aussi le manque absolu de pluies qui explique l'existence de ces grandes plaines salines, dont la pampa de Tamarugal, au Pérou, doit être choisie comme le plus remarquable exemple. Cette pampa, ainsi nommée des *tamarugos* ou tamaris qui croissent dans les dépressions où quelque humidité suinte du sol, est d'une altitude moyenne de 900 à 1,200 mètres. Les couches salines ou *salares*, que l'on exploite comme des carrières de roches, sont tellement épaisses et les pluies sont tellement rares sur ce plateau, que les maisons du village de la Noria, où se sont établis les ouvriers, sont entièrement construites en blocs de sel. Plus à l'est, la pampa de Sal, dans la Bolivie, dont l'altitude moyenne n'est pas moindre de 4,200 mètres, est blanche dans toute son étendue, sur une longueur de 200 kilomètres et sur une largeur moyenne de 15 à 40 kilomètres. L'épaisseur des couches déposées sur ce plateau varie de 12 à 30 centimètres suivant les ondulations du terrain. Les matières salines laissées par les anciens lacs disparus saturent les argiles du sous-sol et les roches elles-mêmes, car la couche de sel se reforme par efflorescence sur toutes les surfaces du désert, où l'on a déjà fait de précédentes récoltes. Le district de Santa Rosa, complétement nettoyé de sel en 1827, était de nouveau tout blanc et bon à exploiter après un laps de vingt-trois années. D'ailleurs, le sel marin n'est pas le seul produit de ces immenses laboratoires naturels : on y trouve aussi des nitrates, des sulfates, du carbonate de soude, des borates de soude et de chaux, qui s'accroissent tous les ans en épaisseur, grâce aux torrents

1. Martin de Moussy, *Confédération argentine*, tome I, page 187.
2. Tschudi, *Ergänzungsheft, Mittheilungen von Petermann*, 1860.

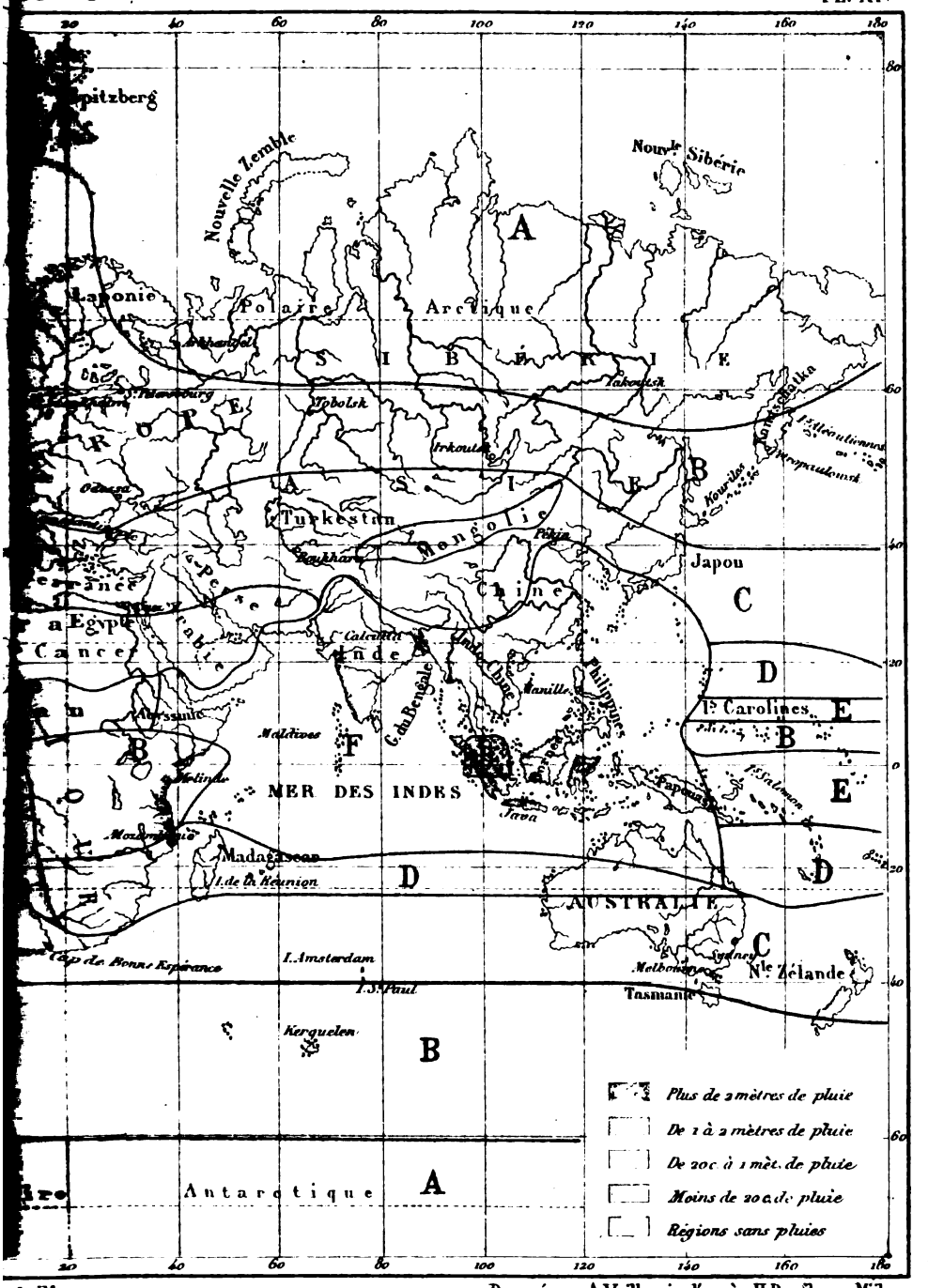
d'un jour descendant parfois, tout chargés de débris, des Cordillères voisines. C'est de la pampa de Tamarugal que provient le salpêtre, cet article qui donne, pendant toutes les guerres de l'Europe et de l'Amérique, une si grande importance commerciale à la ville d'Iquique. D'après l'ingénieur Smith, les couches de nitrate recouvrent dans la pampa de Tamarugal une superficie de 1,250 kilomètres carrés; en certains endroits, où la masse n'a pas moins de 3 mètres d'épaisseur, on a pu retirer du sol une tonne de salpêtre par mètre de surface; mais en comptant seulement sur un produit de 50 kilogrammes par mètre, on trouve que la quantité totale contenue actuellement dans les couches superficielles de la pampa n'est pas moindre de 63 millions de tonnes, assez pour alimenter le commerce pendant mille trois cent quatre-vingt-treize années, si l'exploitation ne devait pas dépasser en moyenne celle de 1860.

Au sel et au salpêtre se joignent, près du littoral et sur les îlots voisins, des amas de guano, composés des innombrables déjections de tous les oiseaux pêcheurs qui s'abattent par nuées sur le littoral. Pendant le cours des siècles, ces immondices se sont entassés en véritables rochers que le soleil dessèche et dont les pluies ne viennent que bien rarement détremper la surface. Les masses de détritus, inutiles en apparence sur ces rivages déserts, sont la vie même pour les campagnes de l'Angleterre, de la France, de la Belgique, épuisées par des cultures intensives, et, par suite, elles constituent entre les peuples un élément de commerce des plus importants. Le principal trésor de la république péruvienne, sa banque nationale, pour ainsi dire, sont des amas de déjections qui recouvrent les îles de Pisco et d'autres îlots de la côte. Là se trouvent environ 11 millions de tonnes de guano, représentant pour le Pérou plus de 2 milliards, dont le produit bien utilisé permettra aux heureux possesseurs de transformer par des travaux publics la surface de leur pays. La même cause qui a changé leurs campagnes en déserts, c'est-à-dire le manque de pluies, leur a donné aussi par leurs îles de guano le privilége de pouvoir rendre une fertilité nou-

PUBLIC LIBRARY



Gravé par Erhard.



Dressé par A. Vuillemin d'après H. Berghaus, Mühry, et autres savants.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R L

velle aux champs épuisés de l'Amérique du Nord et de l'Europe occidentale.

Indispensable pour la connaissance des lois météorologiques et pour la prédiction du temps, la mesure de l'eau qui tombe dans les divers pays de la terre se trouve donc être aussi de la plus haute importance au point de vue géologique, puisqu'elle explique la forme des montagnes, l'aspect général des contrées et la nature de leurs produits. Ce n'est pas tout : la distribution des pluies est également un phénomène de l'ordre astronomique, car, par la comparaison des tranches d'eau pluviale observées sur tous les points du globe, on peut arriver à savoir d'une manière exacte quel contraste présentent les deux hémisphères sous le rapport de la précipitation de l'humidité; or ce contraste, quelle qu'en soit l'importance, se rattache intimement à l'inégale répartition de la chaleur dans les deux moitiés de la planète, et par conséquent à la forme de l'orbite que la terre décrit autour du soleil.

Il ressort des observations comparées que la plus forte proportion d'eau de pluie tombe dans l'hémisphère du nord. D'après Keith Johnston qui, malheureusement, n'a pu s'appuyer que sur un nombre encore restreint de documents météorologiques, la masse d'eau pluviale qui s'abattrait en moyenne durant l'année sur la surface de la terre située au sud de l'équateur serait de 65 centimètres; au nord, elle serait d'environ 95 centimètres, c'est-à-dire d'une moitié en sus plus élevée [1]. Ces chiffres semblent un peu trop forts, et, sans nul doute, ils seront sensiblement modifiés par des recherches futures embrassant un plus grand nombre de stations et une plus longue période d'années; mais il est très-probable que l'écart reconnu entre les deux hémisphères sous le rapport de la précipitation de l'eau de pluie restera toujours considérable. En effet, c'est dans l'hémisphère du nord que se maintient pendant presque toute l'année cette zone des calmes équatoriaux où les pluies tombent en une si grande abon-

1. *Physical Atlas.*

dance; c'est également dans l'hémisphère du nord que les moussons, attirées par le foyer d'appel des continents échauffés, épanchent leurs plus fortes averses et fournissent à la terre, en quelques semaines, plus d'eau que sous d'autres climats il n'en descend des nuages en plusieurs années. Aussi presque tous les grands fleuves, à l'exception de ceux qui débouchent dans l'estuaire de la Plata et des affluents de la rive droite des Amazones, coulent-ils dans l'hémisphère boréal [1]. La surface continentale qui se trouve au nord de l'équateur est triple en étendue de celle qui s'étend au sud, tandis que la masse des eaux fluviales, évaluée grossièrement d'après les données encore incomplètes que nous possédons, y est au moins quintuple ou sextuple.

Or, par un contraste remarquable, l'hémisphère boréal, qui reçoit la plus forte quantité d'eau, en fournit la moindre proportion. En effet, l'Océan, resserré au nord entre les continents, s'étale au sud de l'équateur de manière à recouvrir presque toute la rondeur terrestre : il offre aux rayons solaires une immense surface d'évaporation alimentant incessamment les nuages de l'atmosphère. Ainsi la moitié du globe qui fournit le plus de vapeurs est celle qui reçoit en échange le moins de pluies; il faut donc qu'il s'établisse entre les deux hémisphères un circuit des courants aériens pour que l'équilibre soit maintenu, et cet échange s'accomplit grâce au croisement des vents alizés dans la zone des calmes équatoriaux [2]. Ce sont en grande partie les vapeurs de l'Atlantique méridional, et peut-être aussi celles de la mer du Sud, qui alimentent les fleuves de l'Europe.

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.
2. Voir, ci-dessus, p. 291.

CHAPITRE IV.

LES ORAGES, LES AURORES, LES COURANTS MAGNÉTIQUES.

I.

Hauteur des nuages orageux. — Distribution des orages dans les diverses régions de la terre. — Marche de ces météores.

La condensation et la précipitation de la vapeur d'eau sont toujours accompagnées de phénomènes d'électricité; mais cette force puissante, qui s'agite incessamment à la surface du globe, ne se manifeste point d'une manière visible dans les pluies ordinaires, par lesquelles l'équilibre atmosphérique est à peine troublé. Seulement, lorsque les nuages se condensent tout à coup, et que le sol et les diverses couches d'air ont des tensions électriques très-différentes, l'harmonie se rétablit par de violentes décharges accompagnées d'éclairs. C'est alors que l'on voit dans le ciel, noir de nuages, le spectacle grandiose de ces éblouissantes étincelles qui s'épanchent en nappes ou jaillissent en longs dards tortueux. Un instant la formidable lueur remplit le ciel, puis de nouveau l'espace se recouvre de ténèbres, et l'on entend sortir de l'obscurité l'immense voix du tonnerre, qui se répercute en sourds échos sur les nuages et sur le sol. Dans les violents orages, les déflagrations se succèdent parfois en si grand nombre que l'un ou l'autre côté de l'horizon flambe toujours d'un éclair, et qu'en divers points du ciel à la fois retentissent les coups stridents et les longs roulements de la foudre. En même

temps l'eau des nuages crevés et déchirés tombe avec violence. Souvent aussi les orages font pleuvoir sur le sol une masse de grêlons, formés de couches concentriques d'eau glacée entourant un petit cristal parfois très-régulier. Du reste, chacun de ces météores diffère dans ses allures : les uns sont de simples phénomènes passagers; d'autres sont des trombes électriques ou même doivent être considérés comme de véritables cyclones. Dans ces terribles tourmentes, on a vu parfois des éclairs de 10 et même de 15 kilomètres de longueur.

La principale zone des nuages orageux s'étend à une élévation considérable au-dessus du sol, ainsi qu'il est facile de le constater sur les hauts escarpements. « Les monts attirent la foudre », répètent les dictons de tous les peuples, et c'est en effet sur les grandes saillies du relief terrestre, où les nuages viennent se heurter et se condenser en eau, que les décharges électriques éclatent le plus souvent. En outre, les roches isolées et pointues doivent agir comme autant de paratonnerres naturels, et sont par suite beaucoup plus frappées de la foudre que les parois inférieures des gorges de montagnes : c'est à l'action répétée de ces météores qu'il faut attribuer le singulier état magnétique des rochers dans le voisinage desquels la boussole, affolée, prend sans règle apparente les positions les plus diverses. Forbes et Tyndall citent un exemple remarquable de ce phénomène sur le Rieffelhorn du mont Rose, à plus de 2,900 mètres d'élévation. Humboldt a vu des roches fondues par la foudre au sommet de la montagne de Toluca, au Mexique, à 4,620 mètres au-dessus du niveau de la mer. MM. Peytier et Hossard ont observé des orages pyrénéens qui se formaient à des altitudes encore plus considérables. D'une manière générale, on peut dire que la hauteur des orages est celle des grands « cumulus » dans lesquels ils prennent leur origine [1].

Les orages, de même que les simples pluies, éclatent plus fréquemment que partout ailleurs dans les gorges élevées des montagnes tournées vers la mer. C'est à cause des tempêtes

1. Becquerel et Ed. Becquerel, *Éléments de Physique terrestre.*

si nombreuses qui venaient assaillir les âpres côtes d'Épire et d'Illyrie, que les Grecs avaient fait des monts Acrocérauniens le siége de Jupiter « le lanceur de foudres ». Plusieurs chaînes de montagnes qui s'élèvent dans la zone tropicale au bord de l'Océan, et transversalement à la direction des vents pluvieux, sont bien plus souvent encore visitées par les orages. Ainsi la Sierra Nevada de Santa Marta, dans la Colombie, a ses décharges électriques presque tous les jours, et les rares voyageurs qui gravissent une de ces grandes cimes au-dessus de la zone des tempêtes peuvent s'attendre, de deux heures à quatre heures, à voir se dérouler sous leurs pieds le magnifique spectacle d'une mer tumultueuse de nuages tout frémissants d'éclairs. Dans l'Europe occidentale, les orages, obéissant à une périodicité diurne déjà démontrée par Volta, éclatent également presque toujours dans l'après-midi. M. Ch. Sainte-Claire Deville a aussi constaté l'existence de deux périodicités, l'une annuelle et l'autre qu'il appelle « quadrangulaire », comme si les quatre saisons formaient les quatre coins de l'année.

En général, les orages sont d'autant plus nombreux dans un pays que les pluies y sont plus abondantes. Aussi la zone des calmes équatoriaux et celle des moussons, où l'humidité se précipite en quantités si considérables, sont-elles les régions de la terre où la foudre gronde le plus fréquemment. Au Bengale, le nombre annuel des orages est de cinquante à soixante; dans les Antilles on en compte environ quarante par an; sous les climats tempérés, ils ne sont que d'une vingtaine, ayant presque toujours lieu pendant la saison chaude; dans l'Europe orientale, il est même sans exemple, pour ainsi dire, qu'ils éclatent en hiver; mais sur les côtes occidentales du continent, soumises à l'influence tropicale du Gulf-stream, quelques-uns des conflits orageux de l'air ont lieu pendant la saison froide (fig. 138). Chose curieuse, c'est même en hiver que dans la Grande-Bretagne tombe chaque année la plus forte quantité de grêle (fig. 139). Dans la direction des pôles, le nombre des orages diminue graduellement. Au nord de l'Europe, le tonnerre est un phénomène très-rare, et l'on disait même autre-

fois, mais à tort, qu'en Islande et sur les côtes du Spitzberg, c'est-à-dire précisément dans les contrées où brillent les aurores magnétiques, jamais éclair n'avait été vu dans le ciel.

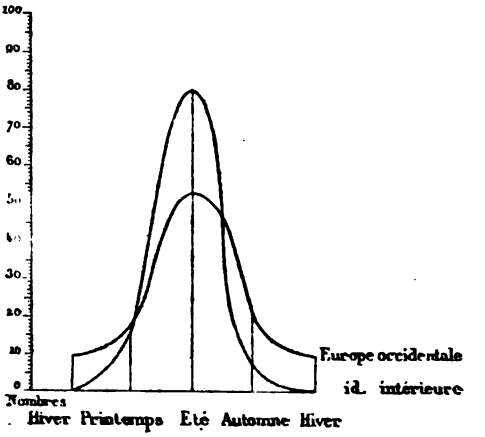


Fig. 138. — Fréquence proportionnelle des orages.

Quant aux pays de la zone tropicale qui ne reçoivent pas de pluie, comme le littoral du Pérou et de la Bolivie, il n'y tonne pas

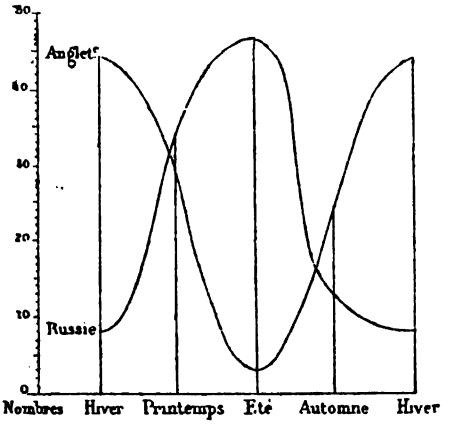


Fig. 139. — Proportion des averses de grêle par saisons en Russie et en Angleterre.

non plus. Les éclairs que distinguent parfois les marins voguant au large des côtes sont les simples reflets de ceux qui s'échappent des nuages à des centaines de kilomètres plus à l'est, sur les pentes orientales des Cordillères.

De même que le nombre des orages diminue graduelle-

ment de l'équateur vers les pôles, de même il se réduit peu à peu sur la haute mer en proportion de l'éloignement des rivages; c'est une règle assez générale, du moins dans les mers de la zone torride et dans l'océan Antarctique. D'après Arago et Duperrey, qui ont recueilli toutes les observations faites antérieurement sur les orages de la mer, aucun marin n'aurait encore entendu le tonnerre au milieu de l'Atlantique austral, ni dans le grand océan du Sud, entre l'île de Pâques et l'île des Antipodes. C'est à cause du petit nombre relatif des décharges éclatant en pleine mer que la plupart des navires, qui pourtant sollicitent l'électricité par la forme de leurs mâts, échappent à la foudre.

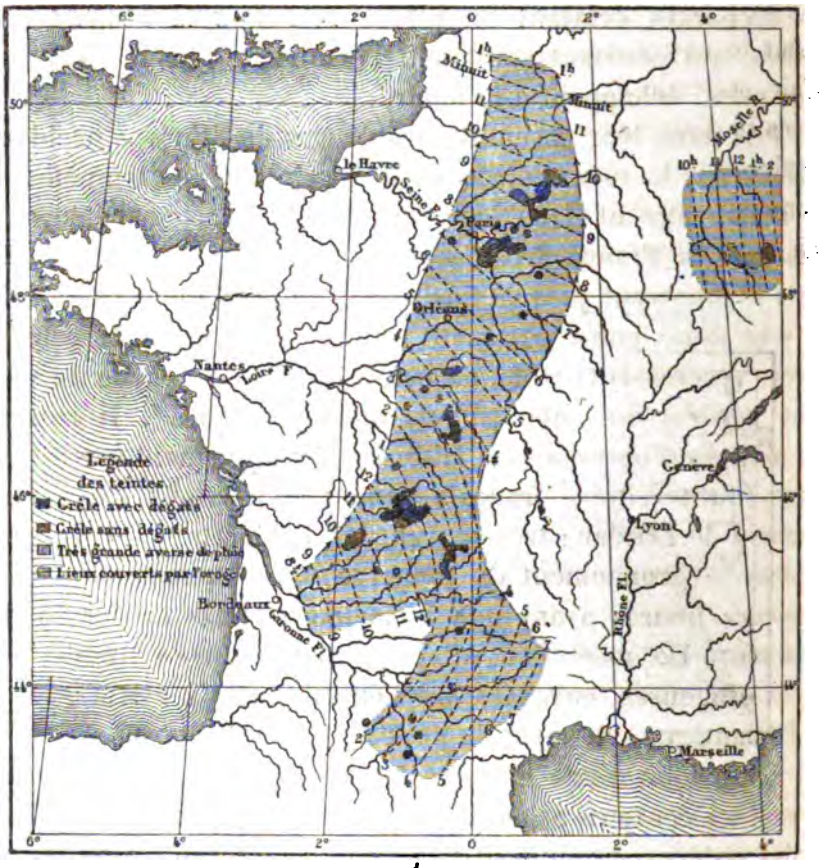
Pris dans leur ensemble, les orages de l'Europe occidentale suivent la même direction générale que les tempêtes et les accompagnent dans leur marche. Les cartes météorologiques de la France dressées depuis 1865 à l'Observatoire de Paris le montrent jusqu'à l'évidence. Ces phénomènes de l'air ne sont donc point purement locaux, ainsi qu'on le pensait encore récemment; mais, au contraire, ils font partie du système général des mouvements atmosphériques [1]. Il ressort des milliers d'observations faites systématiquement sur divers points du territoire français, que presque tous les orages viennent de l'Océan; très-souvent les habitants des côtes entendent le grondement du tonnerre dans les nuages marins plusieurs heures avant que le météore éclate au-dessus du continent. De même en Allemagne et jusqu'en Russie, les nuées orageuses, envoyées par l'énorme bassin d'évaporation de l'Atlantique, viennent de l'ouest et du sud-ouest.

C'est donc d'une manière tout à fait exceptionnelle que de rapides courants ascendants, chargés de l'humidité des lacs et des rivières, produisent des orages dans l'intérieur même des continents; mais sur les divers points de leur parcours, les météores venus de l'Océan sont d'ordinaire très-fortement modifiés par le milieu dans lequel ils se propagent. Au-dessus de régions, différentes les unes des autres par les accidents du

1. *Atlas des orages rédigé par l'Observatoire de Paris.*

sol, la nature des terrains, la végétation, le climat, les orages passent par de brusques péripéties de calme relatif et d'exaspération : ici le tonnerre gronde incessamment et la grêle écrase les récoltes; là, les nuages ne déversent que de la pluie; plus loin encore, le vent chasse devant lui les nues déchirées sans qu'une seule goutte d'eau tombe sur le sol. C'est à cause de ces grandes inégalités dans les allures des

ORAGES DU 9 MAI 1865.



Dessiné par E. Guillemin. 1/8 500 000 D'après Fron et Marié-Davy.

Fig. 140.

orages qu'il est souvent difficile de reconnaître une série régulière dans les troubles qui se succèdent sur des points éloignés d'une même contrée.

Les orages secondaires, qui se forment çà et là sur le trajet du principal courant atmosphérique, sont d'autant plus influencés dans leur marche par les accidents du sol et les variations de la température qu'ils sont moins considérables et plus rapprochés de la surface terrestre. Aussi présentent-ils la plus grande variété d'allures, et dévient-ils fréquemment de leur direction normale pour se propager le long des montagnes, des collines ou des forêts. Ainsi que M. Becquerel l'a prouvé dans ses études météorologiques sur le centre de la France, la plupart des orages secondaires suivent régulièrement le cours des grandes vallées comme autant de fleuves d'air superposés aux fleuves d'eau qui roulent au-dessous. Dans le district canadien de la rivière Rouge du Nord, où ces déplacements locaux des masses atmosphériques sont bien connus, on leur donne le nom de *tempêtes-rubans*, à cause de la direction qu'ils suivent au-dessus des méandres des

ORAGE DANS LA PLAINE AU NORD DES PYRÉNÉES.

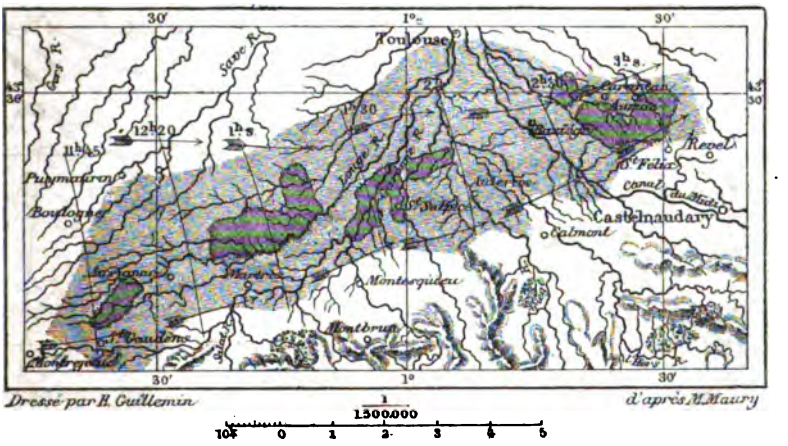


Fig. 141.

Les régions parcourues par l'orage sont indiquées par la teinte gris pâle; celles qui ont éprouvé des dégâts par la teinte gris foncé.

rivières[1]. Lorsqu'un orage, après avoir pris son origine sur un plateau latéral, se dirige obliquement vers une vallée, il change de course au-dessus de la rivière et ne manque jamais

1. Milton et Cheadle, *Voyage de l'Atlantique au Pacifique*, p. 39.

d'en suivre les détours, soit en amont, soit en aval, comme s'il trouvait un lit à sa taille dans le grand fossé de la vallée. Les orages qui marchent à angle droit avec la direction du fleuve sont les seuls qui ne se détournent ni à droite, ni à gauche pour entrer dans la large dépression qui leur est ouverte : la force qui tend à les entraîner parallèlement à la vallée n'est pas assez puissante pour les faire dévier de leur route.

ORAGES A GRÊLE DANS L'ORLÉANAIS.

Fig. 142.

La teinte grise indique les régions soumises aux orages.

Si les orages sont attirés, pour ainsi dire, par les chemins que leur offrent les grandes vallées, il semble également

prouvé qu'ils cherchent à éviter les forêts. Ainsi les divers courants de nuages chargés de grêle qui ravagent plus ou moins périodiquement les campagnes du Loiret, contournent la forêt d'Orléans ou du moins n'en maltraitent que la lisière.

ORAGES A GRÊLE DU BAS-RHIN.

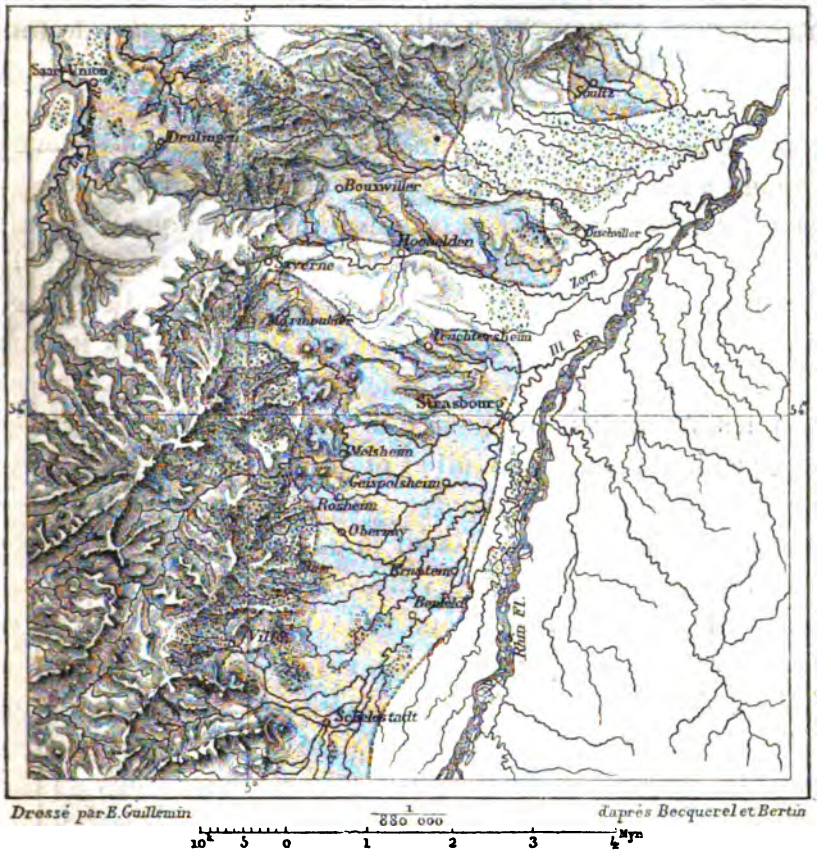


Fig. 143.

Les parties teintées indiquent les régions des orages à grêle.

D'où vient cette immunité relative des arbres? Retardent-ils le courant d'air par leurs troncs pressés, et le forcent-ils ainsi à laisser tomber son poids de grêle à l'extérieur, puis à s'écouler latéralement en respectant la masse épaisse de la forêt? Ou bien agissent-ils sur les nuages comme des paratonnerres, empêchant de cette manière les grêlons de se former? Ces questions sont encore très-discutées; mais, quoi qu'il en

soit, il est certain que les forêts font souvent dévier la grêle, et que les défrichements ont souvent pour résultat de modifier le cours régulier des orages aux dépens des cultures de l'homme [1]. Les nombreuses cartes météorologiques dressées par M. Becquerel et d'autres savants ne permettent point de douter que les zones où les tempêtes à grêle éclatent de préférence sont réellement modifiées dans leurs contours par la distribution des forêts sur le territoire.

Non-seulement la forme et la direction des vallées, de même que la plus ou moins grande étendue des forêts, donnent au sol le pouvoir d'évoquer ou de conjurer les orages, mais il semble aussi que la composition géologique des roches exerce une influence de même nature. Ainsi, pour ne citer que deux exemples, certaines masses de diorite du département de la Mayenne dissiperaient ou détourneraient les tempêtes, tandis qu'au-dessus de la mine de fer de Grondone, dans les Apennins, un nuage se formerait presque chaque jour, pendant les mois de juillet et d'août, puis éclaterait régulièrement en coups de tonnerre vers quatre ou cinq heures de l'après-midi [2]. Toutefois ce sont là des phénomènes pour lesquels la certitude n'est point encore faite. D'après M. Fournet, le savant qui a le mieux étudié le régime des eaux et des vents dans le bassin du Rhône, la nature des roches et du sol végétal, l'étendue des champs cultivés, des pâturages et des forêts n'exerceraient qu'une bien faible influence sur la répartition des orages : la direction et la profondeur des vallées, la hauteur et l'escarpement des saillies terrestres auraient sous ce rapport une importance beaucoup plus considérable.

Cette question de météorologie est encore très-obscure, de même que celles qui sont relatives à la chute de la grêle. Pourquoi, sous les climats tempérés, la zone de grêle qui se forme au-dessus des campagnes est-elle presque toujours beaucoup plus étroite que celle de l'orage lui-même? Pourquoi la chute de grêlons est-elle un phénomène si rare sous

1. Becquerel, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1865, 1866, 1867.
2. Blavier, Vicat, cités par Zurcher et Margollé, *Météores*, p. 119.

les tropiques, du moins dans les régions des plaines? Pourquoi, durant tout un siècle, n'a-t-il grêlé qu'une seule fois à la Havane? La science n'est point encore en mesure de répondre avec assurance. Même relativement à la formation de la grêle, les théories sont contradictoires les unes aux autres, et l'on se demande comment les grêlons, ces lourds projectiles pesant jusqu'à 200 et 300 grammes, peuvent se cristalliser dans les hauteurs de l'air, et le plus souvent en été, peu après les heures les plus chaudes de la journée. Ce qu'il y a de plus probable, c'est qu'un de ces mouvements tournoyants de l'air qui se produisent toujours lors de la rencontre de deux courants atmosphériques opposés est le grand producteur de la grêle. Par suite de la force centrifuge qui se développe dans la trombe aérienne, l'air se raréfie, les gouttes d'eau se congèlent et tourbillonnent dans le grand remous; en même temps l'appel de l'immense entonnoir qui se forme au milieu des nuages fait descendre des régions supérieures une atmosphère glacée, et les grêlons, tournant dans les vapeurs, augmentent incessamment de volume, jusqu'à ce qu'ils s'élancent sur le sol avec la ronde de nuages grisâtres qui les entoure. Cette théorie, qui est celle de Mohr, de Lucas, de Hann[1], ferait comprendre pourquoi les grêles sont tellement rares dans les régions tropicales, où les couches d'air glacées sont à une trop grande élévation pour que les tourbillons de nuages puissent les entraîner dans leur remous. L'aspect des nimbes orageux, l'étroitesse de la zone ravagée par la grêle, la chute oblique des projectiles, la violence avec laquelle ils frappent la terre, la direction giratoire que prennent les blés renversés sur les sillons, donnent un grand degré de plausibilité à l'hypothèse des savants allemands. En tout cas, la puissance des courants aériens qui sont en lutte pendant la formation de la grêle doit être vraiment formidable, car certaines averses de grêlons sont assez fortes pour constituer des sortes de glaciers temporaires. Le 9 mai 1865, la masse de cristaux tombés du ciel sur les prairies du Catelet

1. *Zeitschrift der Meteorologie von Jelinek*, n° 13, 1867.

formait un lit de 2 kilomètres de long sur 600 mètres de large, évalué dans son ensemble à 600,000 mètres cubes. Quatre jours après, les grêlons n'avaient pas encore disparu [1].

Nombre de faits relatifs à la production des orages sont encore incompris, et l'on se demande pourquoi, sur le bord de la mer du Nord, sur les rivages du golfe du Bengale et en beaucoup d'autres régions du littoral océanique, les orages commencent presque toujours à l'heure de la marée [2]. Un autre phénomène orageux des plus étranges et non encore expliqué est l'apparition de ces éclairs qui jaillissent de temps à autre de certaines grottes des falaises de la côte norvégienne. Entre Bergen et Trondhjem, sur les bords du Jörendfjord, s'élève une montagne connue sous le nom de Troldjöl ou roc du Prodige. Parfois, surtout lorsque le temps va changer, des colonnes de flamme et de fumée, annonçant des éclats de tonnerre, s'échappent d'une fissure latérale de cette montagne ; mais la caverne dans laquelle s'élaborent ces mystérieux orages est d'un accès tellement difficile qu'on n'y a point encore pénétré. On n'a pas essayé non plus d'explorer un autre laboratoire de tempêtes, placé dans la paroi de l'une des deux falaises qui se dressent à l'entrée du Lyse-fjord. En cet endroit, la muraille perpendiculaire du rocher méridional n'a pas moins de 1,100 mètres d'élévation [3], et, pour gagner la grotte ouverte dans cette paroi, il faudrait se faire descendre au moyen de cordes à plus de 300 mètres dans l'effrayant abîme. De temps en temps, et surtout lorsque le vent d'est souffle avec violence, on voit jaillir du rocher noir un éclair qui s'épanouit, puis se resserre pour s'élargir encore, se contracter de nouveau et se perdre en franges lumineuses, avant d'avoir atteint la paroi septentrionale. La nappe de feu progresse en tournoyant, et c'est à ce mouvement de rotation que sont dues les expansions et les contractions apparentes de l'éclair. De rapides détonations se font entendre avec une

1. Mariotti, *Atlas de l'Observatoire*.

2. Prestel ; — Bastian ; — Hann, *Zeitschrift der Meteorologie von Jelinek*, n° 17, 1867.

3. Voir, ci-dessus, p. 157.

force croissante avant que la flamme jaillisse du rocher; un violent coup de tonnerre l'accompagne et se répercute en longs échos dans l'étroit corridor marin : on dirait qu'une batterie, cachée dans l'intérieur de la falaise, canonne quelque casemate invisible de la muraille opposée. Tels furent les étranges phénomènes dont l'ingénieur géographe Krefting, chargé du levé topographique de la contrée, fut le témoin en 1855. Les habitants du pays ajoutent que, par un beau temps, et lorsque le vent du sud-est n'a pas soufflé de plusieurs jours, on voit sortir de la caverne une fumée d'un gris jaunâtre, qui s'élève en rampant le long du rocher[1].

II.

Aurores polaires.

Les orages bruyants et rapides qui déchirent l'atmosphère des régions tempérées, et plus souvent encore celle des régions tropicales, trouvent leur contraste le plus saisissant dans ces longs et silencieux orages des nuits polaires, qui jaillissent en dards de flammes pressés sur la rondeur du ciel. Ce sont les aurores australes et boréales. Lorsque ces illuminations de l'air sont faibles, elles apparaissent comme une nuée blanchâtre ou vaguement lumineuse dans la direction du pôle, et souvent on ne peut reconnaître l'existence du phénomène que par les mouvements brusques de l'aiguille aimantée. Ces aurores polaires à peine visibles sont fréquentes sous les climats des zones tempérées; mais on n'y contemple que très-rarement le tableau des gerbes de flammes et des fusées, qui donnent tant de magnificence aux grandes aurores boréales. Dans l'Europe du centre et du midi, nombre de personnes âgées

1. Vibe, *Küsten von Norwegen. Ergänzungsheft, Mittheilungen von Petermann*, 1860.

meurent sans avoir eu jamais le plaisir d'assister à l'un de ces beaux spectacles de la nature. Les seules effluves silencieuses de l'électricité terrestre qu'il leur ait été donné d'apercevoir sont ces vagues lueurs qui s'échappent souvent du sol pendant les nuits sans lune et sans étoiles. Ainsi que le fait remarquer Humboldt, cette clarté tellurique devient parfois assez vive, surtout en hiver, lorsque la terre est couverte de neige, pour qu'il soit possible de discerner la forme des objets à une grande distance, comme à la lumière mourante du crépuscule.

C'est en Écosse, dans les Shettland, en Scandinavie, dans l'Amérique du Nord et surtout en Laponie, sur les bords de la baie de Hudson, et dans les îles polaires, où règnent de longues nuits de plusieurs semaines et de plusieurs mois, qu'il faut aller contempler ces vastes conflagrations aurorales. En 1838 et 1839, une commission scientifique française, campée sur les bords de l'Alten-fjord, sous le 70e degré de latitude nord, observa, dans l'espace de 206 jours, 153 aurores boréales, sans compter 6 ou 7 phénomènes de ce genre restés douteux, et sur ce nombre 64 avaient eu lieu pendant la période nocturne de 70 fois vingt-quatre heures qui s'écoula du 17 octobre 1838 au 25 janvier 1839. Les membres de l'expédition en étaient arrivés à attendre le retour périodique de ces embrasements du ciel comme celui d'apparitions régulières.

Les premières lueurs, encore douteuses, apparaissent à l'horizon du nord comme une aube indécise. Un large segment sombre de nuages, dans lequel Bravais a cru reconnaître la masse des brumes qui pèsent au loin sur la mer, se dessine en noir à travers le ciel, dans la direction du pôle magnétique; mais bientôt une courbe de lumière se montre au-dessus de la strate épaisse des vapeurs, semblable à une arcade immense déployée de l'une à l'autre extrémité de la terre. La lueur, d'un blanc jaunâtre, gagne rapidement en éclat, sans éteindre pourtant le feu des étoiles qui scintillent au travers; elle fulgure, elle ondule et se déplace comme la flamme secouée par le vent; parfois aussi elle se répartit en masses symétriques; on croirait voir les ouvertures flam-

boyantes d'un édifice dont la façade est restée dans les ténèbres. Souvent un deuxième arc lumineux, puis un troisième ou même d'autres encore, s'arrondissent au-dessus du premier, et leurs nappes de feu concentriques brillent jusque dans le haut du ciel. Pendant quelque temps, ces arches de lumière éclairent seules l'espace; mais on voit soudain des rayons colorés s'élancer des arcs vers le zénith en faisceaux convergents. A la base le vert, au centre le jaune d'or, à l'extrémité le rouge pourpre se succèdent régulièrement sur les fusées, ajoutant ainsi à la splendeur de la lumière la beauté des couleurs les plus éclatantes ; souvent aussi, d'après Hansteen, des rayons noirs ou d'un violet sombre alternent avec les baguettes de lumière et les rendent plus éblouissantes par le contraste; pendant une magnifique aurore observée par Maupertuis à la fin du siècle dernier, le rouge était d'une telle intensité que la constellation d'Orion semblait noyée dans le sang. Parfois ces traits si diversement colorés restent longtemps aux mêmes points du ciel; mais plus fréquemment la variété de leurs formes changeantes est infinie : tantôt les deux bases de l'arcade cessent de reposer sur l'horizon, et la nappe lumineuse ondule et se reploie sur elle-même comme une immense draperie frangée ; tantôt les gerbes de rayons, brusquement arrêtées dans le ciel, semblent se réunir en une coupole d'or; souvent elles sont séparées les unes des autres comme par des colonnes de fumée, et tour à tour les lueurs de l'aurore s'éteignent et se rallument. Les rayons, auxquels les Canadiens donnent le nom de *marionnettes* ou « de joyeux danseurs » (*merry-dancers*), varient incessamment de longueur et d'éclat; la terre elle-même, presque toujours couverte de neige quand brille l'incendie magnétique, apparaît tantôt plus claire, tantôt plus obscure par son contraste avec les gerbes flamboyantes. Au zénith magnétique, vers lequel se dirige le pôle méridional de l'aiguille aimantée, le ciel paraît obscur; mais tout autour, les rayons convergents qui viennent de l'horizon du nord, et qui se continuent en s'éloignant les uns des autres vers l'horizon du sud, forment une sorte de couronne. C'est alors le moment le plus brillant du phénomène.

Ensuite l'éclat des arcs et des rayons diminue peu à peu; on les voit « palpiter » pour ainsi dire, comme si la flamme étouffée cherchait à se raviver; mais elle finit par s'éteindre; il ne reste plus çà et là que des « plaques aurorales » émettant une faible lueur, comme de lointains éclairs d'orage; puis on croit voir encore une vague phosphorescence sur les *cirri* blanchâtres. D'ordinaire l'aurore magnétique a complétement cessé quand du côté de l'orient commence à se révéler une autre aurore, celle du soleil qui s'approche de l'horizon[1].

Peltier[2], Silbermann et d'autres physiciens pensent que les aurores polaires sont de lentes décharges électriques passant à travers les innombrables petits glaçons des *cirri*. S'il en est ainsi, la hauteur de l'espace où s'accomplissent ces conflagrations brillantes ne pourrait pas dépasser l'altitude de 10 ou 12 kilomètres à laquelle ces nuelles glacées se montrent encore dans le ciel. D'autres savants, assignant à ces phénomènes une élévation bien plus considérable, pensent qu'ils se produisent en général dans un milieu très-raréfié, vers les limites supérieures de l'atmosphère, et, comme argument en faveur de leur opinion, ils signalent la remarquable analogie qui existe entre les couleurs éclatantes des arcs et des rayons de l'aurore et celles que les électriciens font passer dans le vide. Après avoir confirmé l'idée de Hansteen, que les aurores boréales ne sont point des arcades de lumière, ainsi que les montre une illusion d'optique, mais bien de véritables anneaux entourant le pôle magnétique et rayonnant à la fois vers toutes les régions circumpolaires de l'ancien et du nouveau monde, Bravais essaya d'en mesurer la hauteur et crut pouvoir conclure qu'elle est en moyenne de 150 kilomètres au-dessus de la surface terrestre. Depuis cette époque, M. Elias Loomis, un des physiciens les plus distingués de l'Amérique du Nord, a comparé et discuté avec le plus grand soin toutes les observations faites en diverses latitudes sur les deux magnifiques aurores boréales du 28 août et du 2 septembre 1859, et le

1. Lottin; Bravais; Kämtz; Becquerel; Loomis, etc.
2. *Météorologie électrique, Archives d'électricité de Genève*, 1844.

résultat de ses recherches porterait à croire que l'élévation moyenne des rayons est en effet très-considérable. Ainsi, lors de l'apparition de la première aurore, l'extrémité inférieure des fusées se serait trouvée à 74 kilomètres de hauteur, tandis

COUPE A TRAVERS L'AURORE BORÉALE DU 28 AOUT 1859.

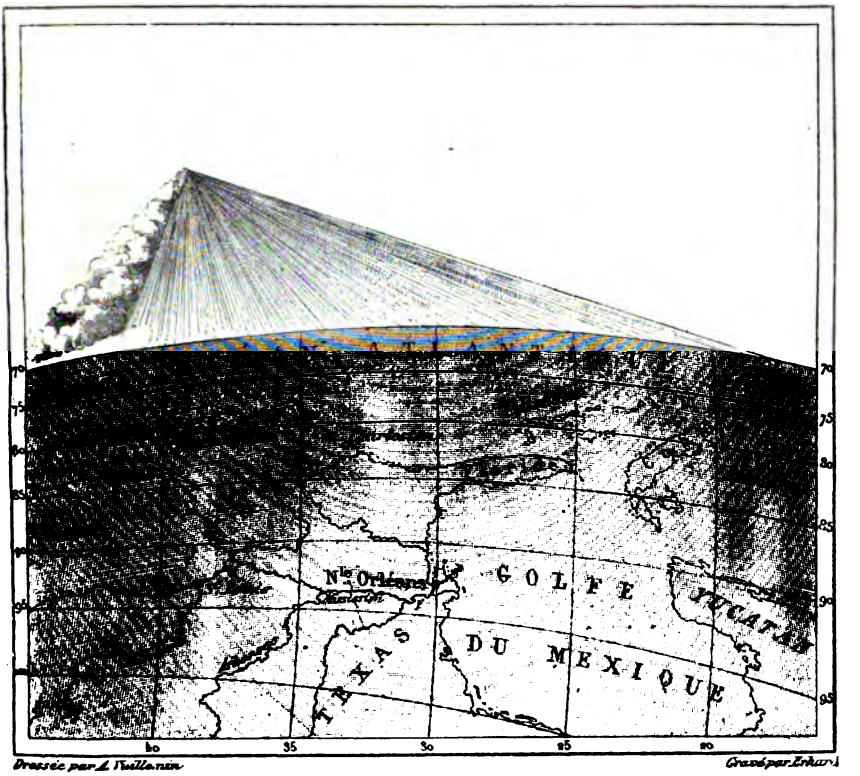


Fig. 144.

que leur extrémité supérieure aurait atteint l'énorme altitude de 859 kilomètres. Les rayons de la seconde aurore se seraient prolongés dans le ciel d'une élévation de 80 kilomètres jusqu'à 796 kilomètres au-dessus du niveau des mers. En calculant par des méthodes analogues la hauteur de trente autres aurores boréales, on a conclu que le point extrême d'où les fusées sont dardées vers la terre est en moyenne à 725 kilomètres du sol et que ces traits de feu ont d'ordinaire 650 kilomètres de longueur [1]. D'autres observateurs sont arrivés à des

1. *Smithsonian Institution, Annual Report for the year 1865*, p. 218 et suiv.

résultats tout différents; plusieurs même affirment, d'après l'observation des phénomènes de reflets sur les nuages, que certaines aurores se produisent dans les régions inférieures de l'air, à 1,000 et 1,400 mètres seulement. On aurait vu, aux

COUPE A TRAVERS L'AURORE BORÉALE DU 2 SEPTEMBRE 1859.

Fig. 145.

bords du lac Scavig, en Écosse, des rayons partir d'un rocher[1]; mais il est probable que ces lueurs d'en bas sont des phénomènes secondaires. Quoi qu'il en soit, on ne saurait douter que les aurores ont l'atmosphère pour théâtre, car elles suivent le mouvement général de la rotation du globe dans le sens de l'ouest à l'est. La figure précédente indique la position et la hauteur relative qu'aurait eue, d'après M. Loomis, l'aurore

1. Thienemann, Wrangel, Struve, Farqhuarson, cités par Kämtz, *Lerhbuch der Meteorologie*. — Félix Foucou, *Histoire du Travail*, p. 79.

boréale du 2 septembre 1859, qui brilla d'un éclat si vif au-dessus des États-Unis et de l'Amérique centrale. Les franges supérieures de la nappe la plus méridionale de rayons apparaissaient verticalement au-dessus du sol dans la Floride, à la latitude de 25° 15′, et l'inclinaison générale de l'aurore était précisément celle qu'aurait eue, dans la même région, une aiguille magnétique librement suspendue[1]. L'aurore, qui avait enflammé l'atmosphère quatre jours auparavant, avait eu sa limite méridionale en Virginie, vers 38° 50′ de latitude.

Les populations du nord racontent que souvent les aurores sont accompagnées de détonations; toutefois, dans aucun cas observé scientifiquement, on n'a perçu le moindre bruit qui semblât provenir des hauteurs de l'air. Du reste, ainsi que le fait remarquer Becquerel, il ne serait pas étonnant que les lamelles de glace composant les *cirri* ne fissent entendre une légère crépitation sous l'influence des courants qui les traversent. C'est en effet au-dessus d'une atmosphère pleine de cristaux de glace que se produisent le plus fréquemment les aurores; les observateurs peuvent le reconnaître immédiatement après la cessation du phénomène, en voyant que les nuages formés de molécules glacées se trouvent précisément dans la direction d'où s'élançaient les lueurs les plus brillantes. Du reste, comme le dit justement Loomis[2], quand on voit jaillir la lumière, on se sent naturellement porté à écouter le fracas de l'air, et l'on entend souvent ce que l'on veut entendre. C'est ainsi que les anciens Germains percevaient le sifflement de la mer quand le soleil couchant, semblable à un fer rouge, y trempait son large disque.

Les aurores peuvent durer longtemps, jusqu'à trente-six et quarante-huit heures; pendant toute la semaine qui commença le 28 août 1859, il paraît même que le phénomène ne cessa point de se manifester avec des intensités différentes au-dessus du territoire des États-Unis. En plein jour, la disposition des nuées et les inquiétudes de la boussole révèlent

1. Voir, ci-dessous.
2. *Aurora Borealis, Smithsonian Report for 1865*, p. 222.

alors l'aurore invisible. En 1786, Löwenorn a même reconnu après le lever du soleil les fusées lumineuses d'une nappe aurorale, tant elles étaient brillantes; mais c'est pendant les nuits que le phénomène a presque toujours lieu. Les rayons colorés, qui exercent une si grande influence sur les mouvements de l'aiguille aimantée, apparaissent d'ordinaire avant dix heures du soir et rarement on les signale encore après quatre heures du matin. Bravais constate qu'en moyenne les aurores boréales dont il fut le témoin, dans son expédition polaire, commençaient vers 7 heures 52 minutes du soir : c'est alors que l'arche lumineuse s'arrondissait sur le ciel; bientôt après les gerbes de rayons s'élançaient vers le zénith. les plaques aurorales faisaient leur apparition, et, vers trois heures et demie du matin, les dernières lueurs s'évanouissaient dans l'espace. De même, c'est pendant l'hiver, qui est pour ainsi dire la nuit de l'hémisphère septentrional, que les aurores

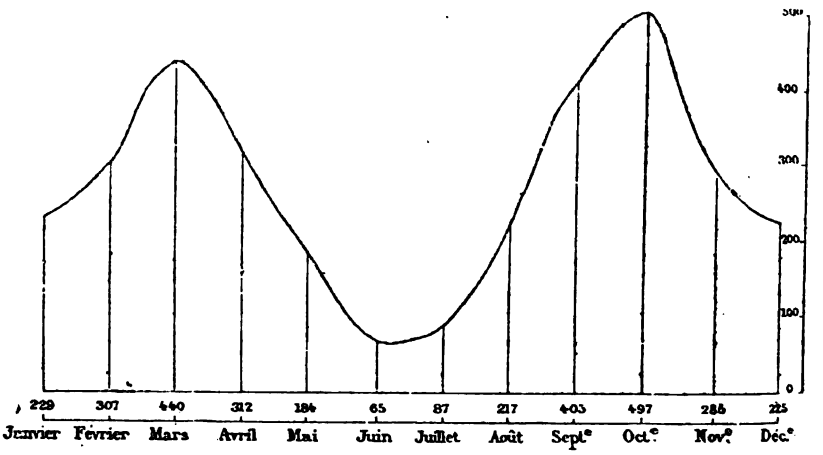


Fig. 146. — Répartition mensuelle des aurores boréales; d'après Kämtz.

boréales s'avancent à une plus grande distance vers le sud et se montrent aux habitants de la zone tempérée. Les périodes pendant lesquelles ces troubles magnétiques se reproduisent le plus fréquemment sont celles des équinoxes, au commencement et à la fin de la saison d'hiver. Le mois de juin est le plus pauvre de tous en météores de ce genre. M. Boué, qui a fait le recensement des aurores boréales observées scientifi-

quement jusqu'en 1860, en compte seulement 60 pour le mois de juin, tandis qu'il ne s'en est montré pas moins de 458 en mars et de 498 en octobre, à l'époque des équinoxes. La figure précédente peut donner une idée de la répartition des aurores boréales dans les différents mois de l'année. La figure 147, construite sur des éléments un peu différents et d'après une méthode plus logique, puisque elle représente le cercle de

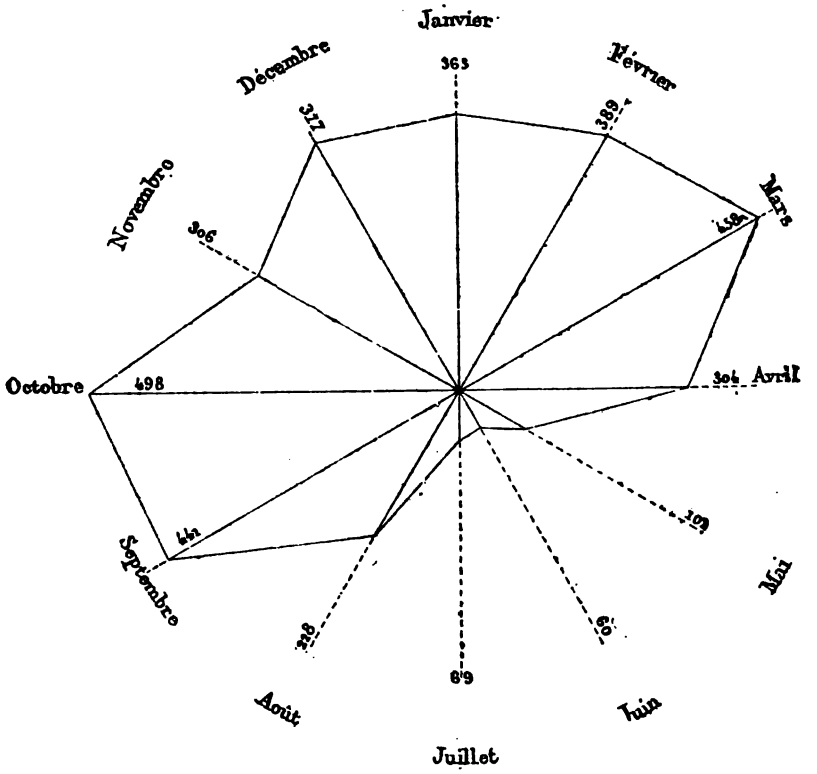


Fig. 147. — Répartition mensuelle des aurores boréales; d'après Klein.

l'année, montre aussi quelle est la distribution moyenne de ces orages de l'air. D'après M. Silbermann, qui a fait des aurores polaires une étude spéciale, ces phénomènes se produisent surtout, dans l'Europe tempérée, quand le baromètre baisse et que le thermomètre monte, avec un vent bas passant à angle droit au-dessous d'un contre-courant élevé. La conflagration est d'autant plus éclatante que l'écart entre les mouvements

du mercure dans les deux instruments est plus considérable et s'opère d'une manière plus rapide. Quand les vents qui se croisent à angle droit viennent de la mer, la lumière est plus pâle.

Il est probable, quoi qu'en dise l'illustre météorologiste Glaisher, que les aurores magnétiques ont aussi leur périodicité, comme tous les autres phénomènes de la nature. C'est là ce qu'établit le catalogue des observations faites en Europe et dans l'Amérique du Nord, depuis la fin du XVIIe siècle jusqu'à nos jours. En 1697, les aurores étaient peu nombreuses, mais elles augmentèrent par degrés jusqu'en 1728, pour diminuer ensuite. En 1755, les apparitions d'aurores étaient fort rares, puis elles devinrent de plus en plus fréquentes vers la fin du siècle; en 1812, elles sont encore à leur minimum; mais, à partir de l'année 1825, l'accroissement du nombre des aurores est très-rapide; après avoir été en moyenne de 1 par année, il s'élève à 30 et 40 dans le même espace de temps. Il ressort de la discussion de tous ces faits que le cycle des aurores est de 58, 59 ou 60 ans, et peut-être cette période elle-même se subdivise-t-elle en six périodes de dix années, correspondant, ainsi que le fait observer Schwabe, avec les alternatives régulières de même durée que présentent les taches du soleil. Les fluctuations des tempêtes aurorales seraient donc des phénomènes astronomiques : entre autres exemples qui semblent établir ce fait, il faut de nouveau citer la célèbre aurore du 2 septembre 1869, qui fut observée dans les deux mondes et les deux hémisphères. La veille, Hodgson à Oxford et Carrington, à Londres, avaient observé une lueur solaire d'une extrême vitesse, qui se déplaça sur le disque de 60,000 kilomètres en cinq minutes, et en même temps on signalait dans tous les observatoires du monde, en Europe, en Amérique, aux Indes, en Australie, un orage magnétique extraordinaire. La figure suivante représente la série des aurores vues à Newhaven, dans le Connecticut, pendant les soixante-dix années de 1785 à 1854, comprenant la durée d'une période complète, à la fois aurorale et solaire.

Il est difficile d'expliquer aujourd'hui pourquoi les aurores

se montrent plus fréquemment en certains lieux de l'ancien et du nouveau monde, qu'en d'autres endroits situés à la même distance du pôle magnétique. Seulement il est incontestable que ce dernier point n'est pas éloigné du centre de l'anneau de lumière; dans notre hémisphère, le point culminant de l'arc lumineux se trouve à peu près dans la direction de la péninsule de Boothia-Felix, où Ross a vu le pôle austral de l'aiguille aimantée se diriger vers le centre de la terre. En

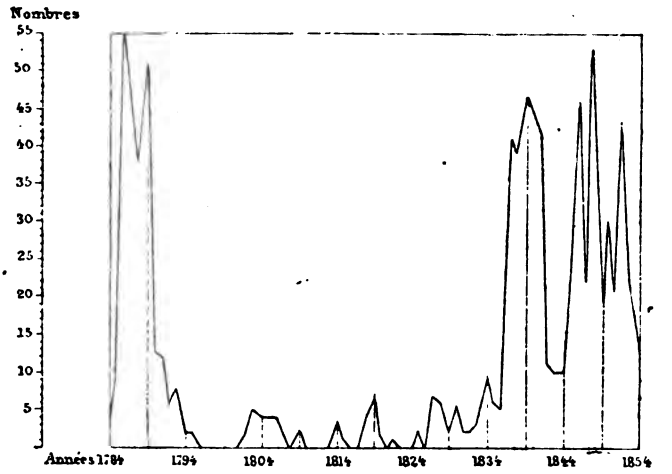
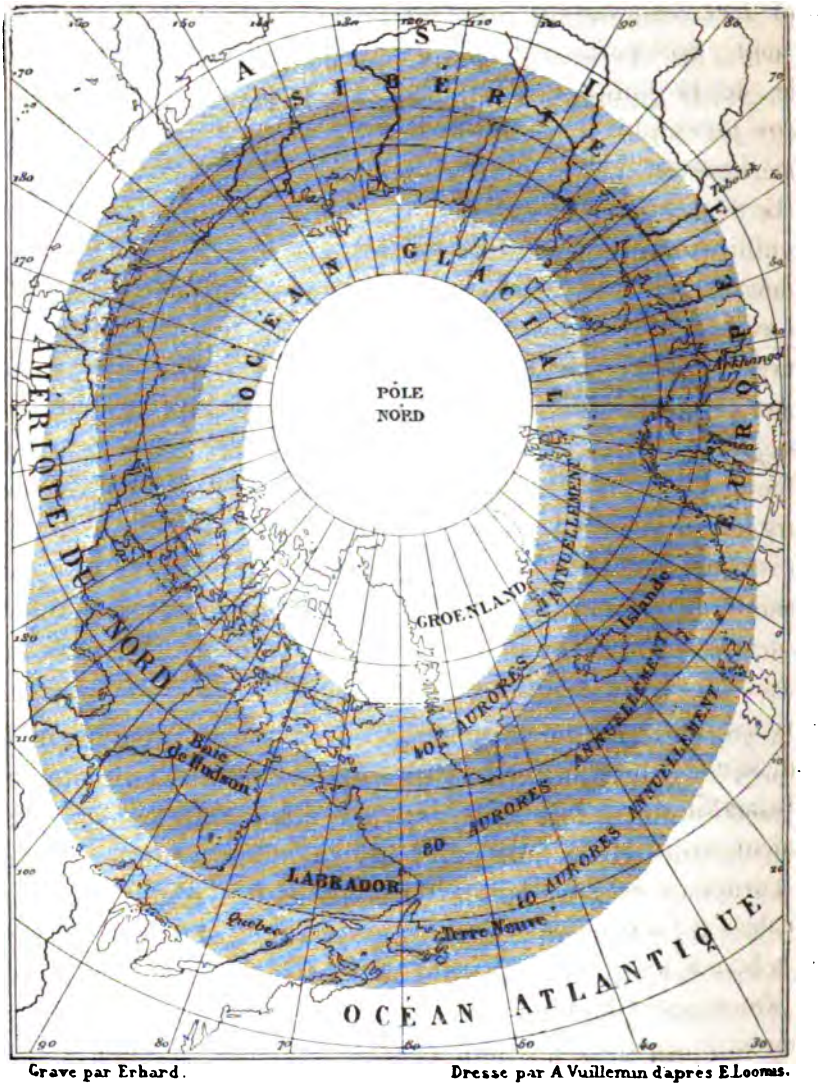


Fig. 148. — Aurores boréales à Newhaven, dans le Connecticut (États-Unis).

Norvége, c'est au nord-ouest qu'on se tourne pour voir les aurores boréales; en Groënland, elles se montrent directement à l'ouest; enfin, à l'île Melville, Parry les a contemplées à l'horizon du sud. Il ne faut point croire que ces orages magnétiques soient très-fréquents dans les hautes régions circumpolaires; ils y sont au contraire assez rares, si l'on en juge par les récits des explorateurs qui se sont le plus avancés vers le nord. Hayes, pendant son séjour au détroit de Smith, n'a même vu que trois phénomènes de ce genre. Autour de l'espace boréal dépourvu d'aurores, c'est-à-dire sur le Groënland méridional, l'archipel polaire, le nord de la Sibérie, le Spitzberg, s'arrondit une zone de 500 kilomètres de largeur moyenne où brillent environ quarante météores lumineux par année. La zone, beaucoup plus large, qui comprend la baie de Hud-

son, le Labrador, l'Islande, le nord de la Scandinavie, est plus riche en aurores; il s'y en produit en moyenne quatre-vingts par an; plus au sud s'étend une troisième zone où ces troubles

ZONE CIRCUMPOLAIRE DES AURORES BORÉALES.



Grave par Erhard. Dressé par A Vuillemin d'après E. Loomis.

Fig. 149.

magnétiques deviennent de moins en moins nombreux; enfin, dans les régions tempérées, ces phénomènes sont rares, et vers le tropique du Cancer ils sont presque inconnus. A la

Havane, on n'a observé pendant cent ans que six aurores brillant à l'horizon boréal[1].

Il est certain que plusieurs de ces orages magnétiques, bien différents sous ce rapport des orages de foudre, se produisent à la fois sur tout le pourtour de l'hémisphère du nord. Les observateurs ont signalé l'apparition de l'aurore du 28 août 1859 sur un espace de plus de 150 degrés de longitude, de la Californie aux monts Ourals. Celle qui éclata quatre jours plus tard a été vue aux îles Sandwich, dans toute l'Amérique du Nord, en Europe, tandis qu'en diverses stations de la Sibérie, où le ciel était nuageux, les palpitations de l'aiguille aimantée témoignèrent des troubles de l'espace. C'est le même jour que l'on put aussi constater pour la première fois avec certitude l'apparition simultanée des flamboiements d'aurore aux deux côtés de la terre, sur les cieux de l'hémisphère boréal aussi bien qu'au-dessus du cap de Bonne-Espérance, de l'Australie et de l'Amérique méridionale. Dans le même instant, on voyait au Labrador, à Philadelphie, à Édimbourg, en Algérie, à Valparaiso, les gerbes lumineuses s'élancer des régions polaires; l'orage était devenu visible sur plus de la moitié de la planète. Ainsi se trouva confirmé ce fait depuis longtemps pressenti par les météorologistes, que les aurores boréales et les aurores australes se produisent en même temps dans les deux hémisphères sous l'influence d'un même courant. Sur trente-quatre aurores observées à Hobart-town, dans la Tasmanie, de l'année 1841 à l'année 1848, vingt-neuf coïncidaient avec des phénomènes du même genre aperçus soit en Europe, soit dans l'Amérique du Nord, et toutes furent signalées à l'autre extrémité de la terre par les perturbations de la boussole.

On répète, depuis Forster, que les aurores boréales et les aurores australes présentent, dans la couleur de leurs flamboiements, de remarquables contrastes : les lueurs émanées des espaces antarctiques seraient d'un bleuâtre pâle, moins colorées que celles des régions arctiques : de même les

1. Elias Loomis, *Aurora borealis, Smithsonian Report for 1865*, p. 215.

nuances des faisceaux lumineux diffèrent aux deux pôles d'un cristal électrisé. Quoi qu'il en soit, il est certain que les extrémités de la terre sont en rapport intime l'une avec l'autre par le fluide qui circule incessamment dans les airs et dans la masse du globe. Les recherches de Peltier, de Becquerel et d'autres physiciens ont établi que les couches supérieures de l'atmosphère sont presque toujours chargées d'électricité positive, et, de leur côté, les couches plus chaudes, reposant sur le sol et sur la surface des mers, ont l'électricité contraire. Par suite de l'énorme évaporation qui se produit dans les mers tropicales, l'humidité qui s'élève dans les hautes régions, et qui est aussi chargée d'électricité positive, maintient l'atmosphère supérieure dans un état de tension constante; mais des orages violents, accompagnés de pluies très-abondantes, reconstituent fréquemment l'équilibre. En dehors de la zone tropicale, les couches d'en haut et celles d'en bas, moins fortement électrisées, ne s'unissent plus par de soudaines décharges, et c'est par les silencieuses fusées des aurores polaires que se rencontrent et se neutralisent les deux électricités contraires : ce sont « des orages qui font long feu », dit M. Silbermann. Telle est la théorie. En tout cas, il est certain que les aurores sont bien des phénomènes électriques, puisqu'elles agissent sur les fils des télégraphes à la manière des batteries, et que les couleurs des arches, des fusées, des plaques aurorales sont précisément celles de l'étincelle électrique ordinaire passant à travers l'air raréfié. En même temps, les aurores sont des phénomènes magnétiques, ainsi que le prouve leur action si puissante sur les mouvements de la boussole. Bien qu'elles se produisent dans l'atmosphère et ne cessent d'accompagner le globe dans sa rotation diurne, elles sont aussi très-probablement des phénomènes de l'ordre astronomique, obéissant dans leurs périodes successives aux cycles du soleil. Attraction solaire, magnétisme, électricité, toutes forces qui se transforment harmonieusement les unes dans les autres et travaillent ainsi de concert à modifier incessamment, puis à rétablir l'équilibre de l'atmosphère.

III.

Le magnétisme terrestre. — Déclinaison, inclinaison, intensité des mouvements de la boussole. — Pôles et équateur magnétiques. — Lignes isogones et leurs variations séculaires, annuelles, diurnes. — Lignes isoclines. — Lignes isodynamiques.

Cette incessante mobilité, qui est le caractère de tous les phénomènes du climat, se manifeste surtout d'une manière étonnante par les oscillations perpétuelles des courants électriques. Le magnétisme, cette force encore si mystérieuse qui, pareille au fluide nerveux des corps organisés, fait vibrer ses ondulations invisibles des pôles à l'équateur, a transformé la planète en un aimant gigantesque. Sous l'influence de la chaleur du soleil qui donne la vie à notre globe, une sorte de frisson parcourt sans relâche l'enveloppe planétaire; des courants d'électricité, dont Ampère a découvert la marche incessante de l'est à l'ouest, en sens inverse du mouvement de rotation du globe, entourent la surface terrestre comme d'une immense hélice et maintiennent entre les deux pôles une activité magnétique exactement semblable à celle qui se produit à la surface d'une boule autour de laquelle sont enroulés des fils de métal [1]. Tous les corps sont plus ou moins influencés par ces courants, et devraient s'orienter suivant certaines directions régulières, si leur volume, leur poids, la cohésion de leurs molécules ne les empêchaient d'obéir d'une manière sensible à la force qui les sollicite. La puissance du grand aimant terrestre est évaluée, par Gauss, à 8,464 trillions de fois celle de nos aimants artificiels les plus énergiques, et cependant cette vertu si grande de la planète n'est connue que depuis une époque relativement très-récente. C'est en l'année 1700 seulement que Halley a dessiné la première carte magnétique, et sept cents années à peine se sont écoulées depuis qu'en Europe les marins d'Amalfi, de la Provence et de

1. Barlow, Ampère, Becquerel, Sabine. — Voir aussi *les Phénomènes de la Physique*, par Amédée Guillemin, p. 702 et 703.

la Ligurie ont appris des Arabes ou découvert eux-mêmes les mouvements de l'aiguille aimantée, premier témoignage de ce courant magnétique, qui pourtant n'est absent d'aucune molécule de la planète. Depuis plus de deux mille ans déjà, les navigateurs chinois connaissaient la remarquable propriété de la boussole.

Dans les premiers temps, on croyait que cette aiguille se dirige constamment vers l'étoile polaire ou plutôt vers le pôle de la planète; mais les pilotes qui mettaient hardiment le cap sur les Canaries et sur l'Islande, et même ceux de la Méditerranée, purent constater que la pointe de la boussole n'indique point invariablement le nord, et qu'elle s'écarte, suivant les latitudes, d'un nombre de degrés plus ou moins grand, à droite ou à gauche de cette direction normale. En 1268, elle se dirigeait de 7 degrés et demi vers l'est, à Lucera, dans l'Italie méridionale, ainsi que le signala Pierre Pélerin de Maricourt[1]. Colomb, dans le voyage qui lui fit découvrir le nouveau monde, s'aperçut aussi que l'écart de la boussole peut dépasser plusieurs degrés à l'ouest du pôle astronomique, et l'on dit qu'il dut rassurer ses matelots, effrayés par ce phénomène inattendu; plus tard enfin, les expéditions de Magellan, de Drake et des autres circumnavigateurs du monde révélèrent l'amplitude totale que peuvent offrir, relativement au pôle, les diverses positions de l'aiguille aimantée. Ces positions obliques, à droite ou à gauche de la ligne du méridien, sont connues sous le nom de *déclinaison*.

La déviation de la boussole n'est pas le seul fait qu'il s'agisse d'observer pour connaître l'action magnétique de la terre. En 1576, l'Anglais Norman vit le premier que l'aiguille n'occupe point une position horizontale sous les latitudes de l'Europe. Que l'on remonte vers le pôle magnétique du nord, et l'extrémité septentrionale de l'aiguille plongera de plus en plus dans la direction du sol; sur le pôle même, elle sera tout à fait droite. Que l'on descende au contraire vers le sud, et la boussole deviendra de moins en moins oblique à l'horizon,

1. D'Avezac, *Bulletin de la Société de Géographie*, 1859.

puis, sur une ligne idéale qu'on appelle l'équateur magnétique, elle sera parfaitement parallèle au sol pour se pencher au delà, par son extrémité méridionale, et s'incliner de plus en plus jusqu'au pôle magnétique du sud, où la pointe d'acier sera complétement perpendiculaire; c'est là le phénomène désigné par le nom d'*inclinaison*.

Ce n'est pas tout; que l'on fasse dévier l'aiguille de sa direction normale, et, pour y revenir, elle oscillera plus ou moins rapidement, suivant les parties de la terre où elle se trouve. Ces oscillations, analogues à celles du pendule, révèlent la plus ou moins grande intensité des courants qui se produisent dans les diverses contrées, et varient de lieu en lieu comme la déclinaison et l'inclinaison. D'ailleurs, ces différences locales elles-mêmes n'ont rien de permanent. La direction et la force de ces courants magnétiques, qui se propagent à la superficie de la planète, ne cessent de changer d'heure en heure, de jour en jour, d'année en année, de cycle en cycle, conformément à des lois de périodicité dont la science n'a pas encore trouvé tous les éléments. Parmi les manifestations de la vie planétaire, courants fluviaux et maritimes, poids de l'atmosphère, pression de la vapeur d'eau, alternative des vents, oscillations des climats, il n'est point de phénomènes qui soient plus rapides et changeants dans leurs allures que ceux du magnétisme terrestre.

Quelle est la cause probable de ces courants qui frémissent autour de la terre et sous lesquels la boussole ne cesse de s'agiter, comme la girouette sous la pression des vents? Cette cause doit être cherchée à la fois dans les mouvements de la terre et dans ceux du soleil, cette grande source de la vie terrestre. Le contraste des terres et des eaux inégalement répartis dans les deux hémisphères, la différence de température entre les couches aériennes, la rotation diurne de la planète autour de son axe, sa révolution annuelle autour du soleil, la différence des vitesses angulaires dont sont animées les diverses parties de la surface du globe entre l'équateur et les pôles, l'accroissement ou la diminution de rapidité qu'éprouve la terre en se rapprochant ou en s'éloignant du soleil, la rotation propre de l'astre central, enfin les divers phénomènes

périodiques auxquels il est soumis, son déplacement dans l'espace vers des régions inconnues du ciel, l'approche d'une planète perturbatrice, tout, jusqu'au frottement du sphéroïde terrestre sur les masses éthérées qui l'entourent, développe incessamment l'énergie magnétique du globe, comme le ferait une hélice immense, parcourue par des torrents d'électricité. Dans ce sol, qui semble immobile et où s'élaborent tant de germes cachés, où se préparent tant de phénomènes futurs, le courant circule sans repos, comme un fleuve intarissable. Sous l'influence du soleil, il se précipite ou se ralentit, se déplace dans un sens ou dans un autre, promène sur la rondeur du globe son équateur et ses pôles; il obéit sans cesse aux lois harmonieuses des astres, et cependant il paraît n'être qu'un caprice de la terre, à cause de l'entre-croisement multiple de ses phénomènes à périodicités si diverses. De même que la fine aiguille aimantée tremble et s'agite, comme un être affolé, dans sa boîte suspendue près du gouvernail du navire, de même, sur la terre entière, les courants magnétiques oscillent et se déplacent sans relâche; subissant aussitôt les influences cosmiques auxquelles obéissent plus lentement les autres fonctions du globe, ils peuvent être comparés avec raison aux phénomènes nerveux dans l'organisme animal. Par suite de leur mouvement vibratoire continuel, les courants magnétiques ne sauraient donc être nettement tracés sur la carte, et l'on doit toujours se borner à en indiquer la direction moyenne. Il n'y a pas deux instants de l'année où les mouvements de l'aiguille à la surface de la terre soient identiques.

Les pôles vers lesquels se dirige la boussole dans les deux hémisphères errent constamment autour des pôles astronomiques de la planète, et ce n'est jamais au même point qu'il faut en chercher la position précise. Humboldt cherchait sur la carte le pôle nord de la boussole entre le Groenland et le Spitzberg; mais en 1832 le capitaine John Ross, naviguant alors à près de 70 degrés plus à l'ouest, au milieu de l'archipel boréal de l'Amérique du Nord, arriva dans le voisinage de cette région centrale d'attraction magnétique, puisque la pointe de son instrument était dirigée dans un sens presque vertical

à la terre. Ce point, vers lequel convergeaient alors tous les courants magnétiques de l'hémisphère septentrional, était situé dans la presqu'île de Boothia-Felix, à près de 20 degrés au sud du pôle terrestre (70°, 5′ N.), et à plus de 99 degrés à l'ouest du méridien de Paris; depuis cette époque, il s'est probablement déplacé de quelques degrés vers l'est. Le pôle magnétique du sud n'a été reconnu jusqu'à nos jours par aucun navigateur; d'après les calculs de Duperrey, de Gauss et d'autres savants, il se trouverait probablement à 14 degrés 55 minutes du pôle antarctique, au sud du continent d'Australie. Les deux points d'attraction de la boussole sont donc placés chacun au méridien d'un groupe de continents; mais ils ne sont pas antipodiques l'un à l'autre, puisqu'ils se trouvent dans le même hémisphère, séparés par un arc d'un peu plus de 161 degrés, 29 degrés de moins que la demi-circonférence. Quant à l'équateur magnétique, qui est la ligne où la boussole se maintient parfaitement horizontale à la surface de la terre, il ne se confond pas plus avec l'équateur de rotation que les pôles magnétiques ne se confondent avec les extrémités de l'axe planétaire. Il se développe suivant une ligne courbe, qui coupe l'équateur terrestre, à l'est de l'archipel des Carolines, pour traverser les îles de la Sonde, les péninsules gangétiques, l'Éthiopie et le Soudan, puis il repasse au sud de la ligne équinoxiale, non loin de l'île portugaise de São-Thome ou Saint-Thomas, et s'infléchit en Amérique au-dessus du Brésil et du Pérou; d'ailleurs, les observations les plus délicates ne permettent guère d'indiquer le vrai tracé de l'équateur magnétique, si ce n'est approximativement, avec un 1 ou 2 degrés d'erreur possible. On peut dire d'une manière générale que l'équateur magnétique se recourbe vers le nord dans les continents de l'ancien monde et vers le sud dans le nouveau monde. De nos jours, cette ligne déplace lentement de l'est à l'ouest ses points de croisement avec l'équateur terrestre.

Les deux pôles magnétiques occupant, par rapport à l'axe de la terre, une position tout à fait oblique, puisque l'un est situé dans l'archipel polaire américain, tandis que l'autre se trouve sous le méridien de l'Australie, il en résulte que les courants

se propagent eux-mêmes obliquement à la surface du globe. Au lieu de marcher dans la direction du nord au sud, ils se meuvent suivant des courbes non parallèles, qui, d'un côté de la terre, sur la face atlantique, se replient à l'ouest, et, sur la face opposée, sont pour la plupart déviées vers l'est du monde. Les lignes de séparation entre ces deux zones de déclinaison occidentale et orientale sont les seules parties de la terre où la boussole pointe directement vers le nord. Afin d'indiquer d'une manière claire la direction moyenne de l'aiguille aimantée pour une année quelconque dans les diverses contrées, on a tracé sur la carte, à droite et à gauche des lignes sans déclinaison, d'autres lignes dites *isogones*, parce que la boussole y forme partout un même angle avec le méridien terrestre. Ces courbes, reliant tous les points de la terre où l'inclinaison moyenne de l'aiguille reste sensiblement égale, sont encore beaucoup moins régulières que les méridiens magnétiques. Les unes se dirigent du nord au sud, d'autres courent en partie de l'est à l'ouest; d'autres enfin se replient en forme de cercles ou d'ovales.

Actuellement, la ligne sans déclinaison qui traverse l'ancien monde passe à l'orient du Spitzberg, aborde la Russie aux environs d'Arkhangel, gagne la dépression caspienne par la vallée du Volga, franchit obliquement la Perse, puis, après s'être déployée au large de l'Hindoustan et des îles de la Sonde, comme pour marquer les contours généraux du continent asiatique, se dirige brusquement vers le pôle magnétique du sud, à travers le centre de l'Australie. A l'ouest de cette ligne, jusqu'au delà des rivages du groupe continental que constituent l'Europe et l'Afrique, la déclinaison de la boussole vers l'occident augmente graduellement, puis elle diminue au-dessus de l'Atlantique pour se réduire à zéro sur les côtes orientales du nouveau monde. La seconde ligne sans déclinaison, qu'on pourrait appeler la ligne américaine, descend du pôle magnétique à l'ouest de la baie de Hudson, traverse les grands lacs. passe aux environs de Philadelphie et de Washington, puis se recourbe au large des Antilles comme l'autre ligne sans déclinaison s'est recourbée autour de l'archipel de la Sonde, et coupe l'extrémité du Brésil, des bouches de l'Amazone à Rio-

de-Janeiro, pour courir à travers l'Atlantique vers le pôle sud. A l'ouest de cette ligne, la déviation de la boussole devient orientale; elle s'accroît rapidement au-dessus du sol américain, puis avec beaucoup plus de lenteur à travers le Pacifique, et diminue même pour enfermer, à l'est de la Chine et de la Sibérie, une espèce de grande île, où la déclinaison est occidentale, comme dans le bassin de l'Atlantique. Quelles que soient les irrégularités partielles de ces deux zones de variation différente, il est impossible de ne pas être frappé de leur concordance générale avec les traits les plus saillants de la surface planétaire. A la déclinaison occidentale correspondent les bassins de l'Atlantique, de la Méditerranée et de la mer des Indes; à la déclinaison orientale correspond le Pacifique. Quatre continents, l'Asie, l'Australie, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, appartiennent à cette dernière zone; quant à l'Europe et à l'Afrique, elles font partie de la zone de déclinaison occidentale.

Pendant le cours des siècles, le système des lignes isogones se déplace très-rapidement dans certaines contrées de la terre. Dans les mers du Spitzberg, à l'ouest des Antilles, en diverses régions de la Chine, la direction moyenne de la boussole n'a pas varié d'une manière sensible en un siècle; mais il n'en est pas de même dans l'Europe occidentale. A Paris, lors des premières observations faites régulièrement sur le magnétisme terrestre, la déclinaison de la boussole était orientale; en 1580, elle atteignait même 11 degrés 31 minutes à l'est du méridien. En 1663, la déclinaison n'existait plus ni dans un sens ni dans un autre, l'aiguille aimantée se dirigeant exactement vers le nord. Dès lors, la déclinaison vers l'ouest ne cessa d'augmenter pendant plus d'un siècle et demi jusqu'en 1814, époque à laquelle l'angle formé par la boussole avec le méridien terrestre n'était pas moindre de 22 degrés 34 minutes. De nos jours, l'aiguille rétrograde vers le méridien, et le 1er janvier 1869 l'angle était seulement de 17 degrés 50 minutes; le recul est donc en moyenne de près de 5 minutes par an; mais il s'est accompli d'une manière très-inégale, et, dans certaines années, la déclinaison occidentale s'est de nouveau brusquement accrue. On ne saurait douter qne ces oscillations séculaires du

courant magnétique ne fassent partie d'un cycle dont la durée correspond avec celle de quelque grand phénomène astronomique. D'après M. Chazallon, cette période serait pour Paris de quatre cent quatre-vingt-huit ans, et l'aiguille aimantée se dirigerait de nouveau exactement vers le nord en l'année 2151. M. John Parker pense que la période du magnétisme terrestre est de six cent quarante ou six cent cinquante années, et se confond avec la révolution de la planète autour du centre de l'orbite solaire[1]. La ligne sans déclinaison qui passait en l'année 1800 sur Calcutta[2], et qui depuis s'est avancée déjà de 2,000 kilomètres à l'ouest, se déplace peu à peu des confins de la Russie et traversera successivement la Pologne, l'Allemagne, pour dépasser ensuite la France, atteindre l'Atlantique et reprendre plus tard son mouvement de recul vers l'orient. Malgré ce balancement séculaire des forces magnétiques, il est probable cependant que, dans leur ensemble, les courants ne finissent jamais par suivre exactement les mêmes directions à la surface de la terre : les pôles, l'équateur, les méridiens se déplaçant sans cesse, le réseau des lignes magnétiques change éternellement, de même que la position relative des astres dans l'espace.

Pendant que s'accomplit cette longue variation séculaire, l'aiguille ne cesse d'être agitée par des oscillations à périodes plus courtes. Celles qui s'achèvent dans le cours d'une année se rattachent d'une manière évidente à la position de la terre relativement au soleil, car ses diverses phases coïncident avec les équinoxes, les solstices et tous les changements brusques des saisons[3]. Dans l'Europe occidentale, ainsi que Cassini l'a constaté le premier, la boussole se rapproche graduellement du méridien, en cheminant vers l'est, pendant la période qui s'écoule de l'équinoxe de mars au solstice de juillet; puis l'aiguille aimantée recommence à marcher vers l'ouest, mais en se ralentissant peu à peu, et c'est à la fin de l'hiver seulement

1. *Journal of the American geographical and statistical Society*, 1870.

2. Hermann Schlagintweit.

3. Federico Aguilar, *Memoria sobre los movimientos de la brujula en Quito*, 1868.

qu'elle atteint sa plus grande déclinaison vers l'ouest : pour revenir à son point de départ, elle emploie les trois quarts de l'année. En Amérique, la marche est différente, ce qui provient sans doute de la différence de déclinaison. Quant à l'amplitude totale des variations annuelles, elle offre une grande irrégularité : à Paris, elle a été, en 1784, d'environ 20 minutes.

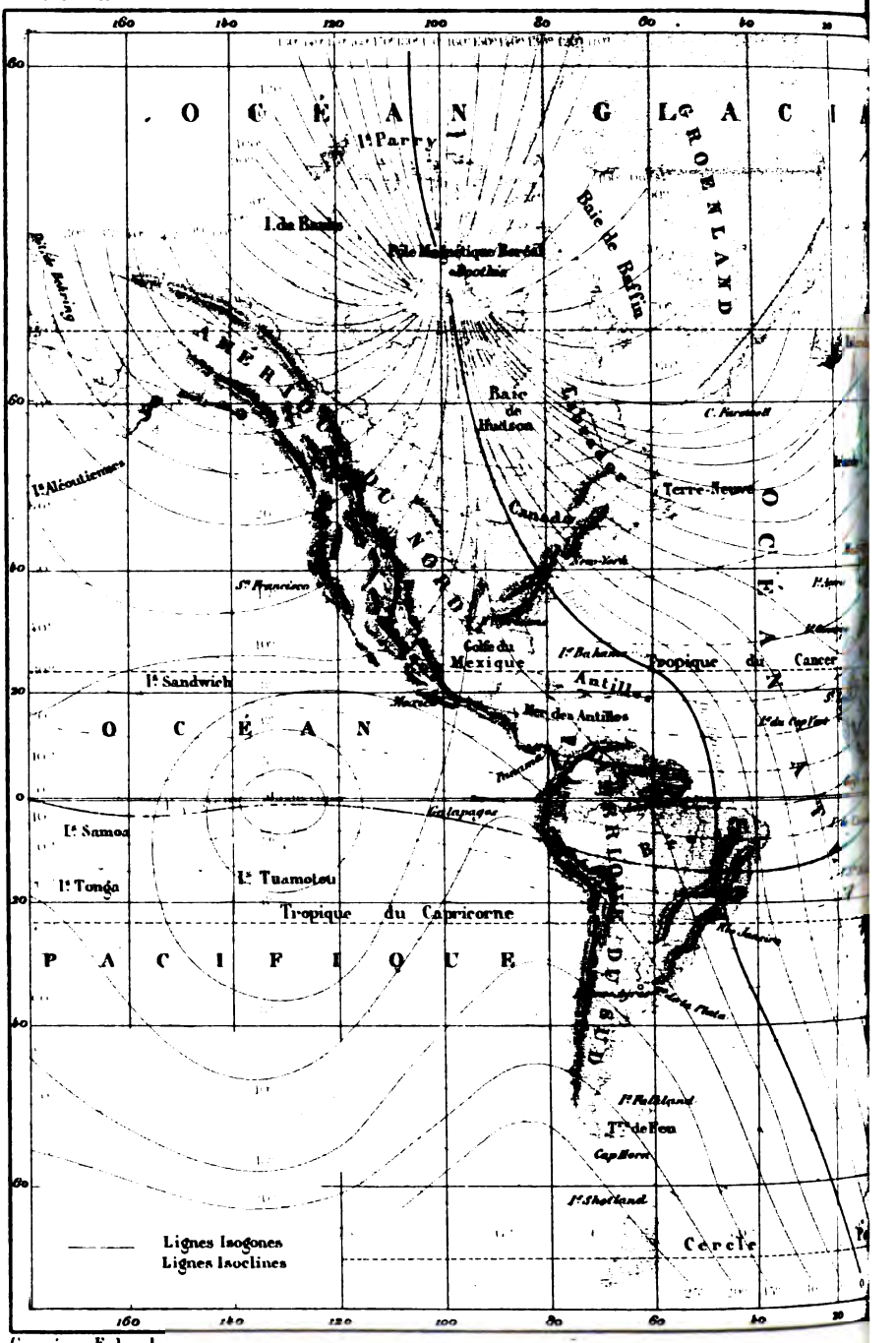
Les variations diurnes, soupçonnées déjà par Tachard à Siam, et réellement découvertes en 1722 par Graham, à Londres, diffèrent aussi d'allures sur tous les points de la terre; en France, où l'amplitude observée oscille entre 5 et 25 minutes, l'aiguille se dirige de l'est à l'ouest entre huit heures du matin et une heure de l'après-midi; puis elle retourne dans la direction de l'est, et vers dix heures elle occupe à peu près la même position que le matin. Dans les contrées voisines du pôle boréal, l'amplitude des variations diurnes est généralement plus forte que dans la zone tempérée; dans les régions torrides, au contraire, ces variations sont plus faibles, tandis que dans les terres australes les mouvements diurnes deviennent de plus en plus considérables vers le sud. Comme ils se produisent en ordre inverse de ceux que l'on observe dans le nord, il est probable que les deux hémisphères à variations opposées sont séparés l'un de l'autre par une ligne où la boussole se maintient immobile; cependant on n'a point encore découvert d'une manière certaine cet équateur sans variations, qui semble ne point devoir concorder avec l'équateur magnétique.

De même que l'on a tracé sur le globe des lignes isogones pour indiquer la déclinaison de la boussole aux diverses années, de même on signale par des *isoclines*, se succédant de chaque côté de l'équateur magnétique, les parties de la terre où l'aiguille aimantée se penche vers le sol d'un même nombre de degrés. Ces lignes isoclines sont en général plus régulières dans leurs courbes que les lignes isogones; mais elles s'infléchissent également sous l'influence des formes continentales. C'est principalement dans l'hémisphère du nord que se fait sentir cette influence. Ainsi l'isocline de 50 degrés longe les rivages de l'Amérique centrale, puis, après avoir traversé le

bassin de l'Atlantique, parcourt obliquement les dépressions du Sahara, de la Méditerranée orientale, de la Caspienne, et contourne au nord les grandes montagnes du Thibet. La ligne isocline de 70 degrés se développe au large des rivages occidentaux de l'Amérique du Nord, de la péninsule d'Aliaska aux côtes de l'Orégon, tandis que dans l'ancien monde elle suit la dépression formée par la Manche, la mer du Nord, la Baltique et le golfe de Finlande. Enfin la ligne de 80 degrés suit à distance les rivages polaires de l'Amérique, pour longer ensuite les côtes orientales du Labrador et du Groenland, et se replier en une immense courbe autour de la Scandinavie. Comme tous les autres phénomènes magnétiques, l'inclinaison subit aussi des variations incessantes, périodiques et accidentelles, mais ces variations ont été moins bien étudiées que celles de la déclinaison. A Paris, l'aiguille est de moins en moins inclinée depuis 1671; elle était alors penchée de 75 degrés, tandis qu'en 1869 elle l'était seulement de 65°53; la diminution annuelle a donc été d'un peu moins de 3 minutes : les observations faites à Londres et dans plusieurs autres villes de l'Europe occidentale conduisent au même résultat. Quant aux variations mensuelles, elles sont relativement moins fortes que celles de la déclinaison; c'est en été qu'elles ont la plus grande amplitude.

Les lignes *isodynamiques*, c'est-à-dire celles qui réunissent les points de la terre où les mouvements de l'aiguille aimantée ont une égale intensité, ressemblent dans la plupart de leurs courbes aux lignes isoclines; cependant elles ne coïncident point avec elles. L'équateur dynamique, ligne où l'intensité du magnétisme terrestre se manifeste avec le moins de force, s'infléchit aussi dans l'hémisphère méridional, pour traverser le Pérou et le Brésil, non loin de Rio-de-Janeiro, puis il remonte obliquement par le continent africain vers les péninsules méridionales de l'Asie et l'archipel de la Sonde : sur cet équateur, c'est dans l'Atlantique, au large des côtes brésiliennes, que les mouvements de l'aiguille ont le plus de lenteur. De chaque côté de la ligne de moindre force, l'intensité magnétique s'accroît vers le nord et vers le sud, mais d'une manière

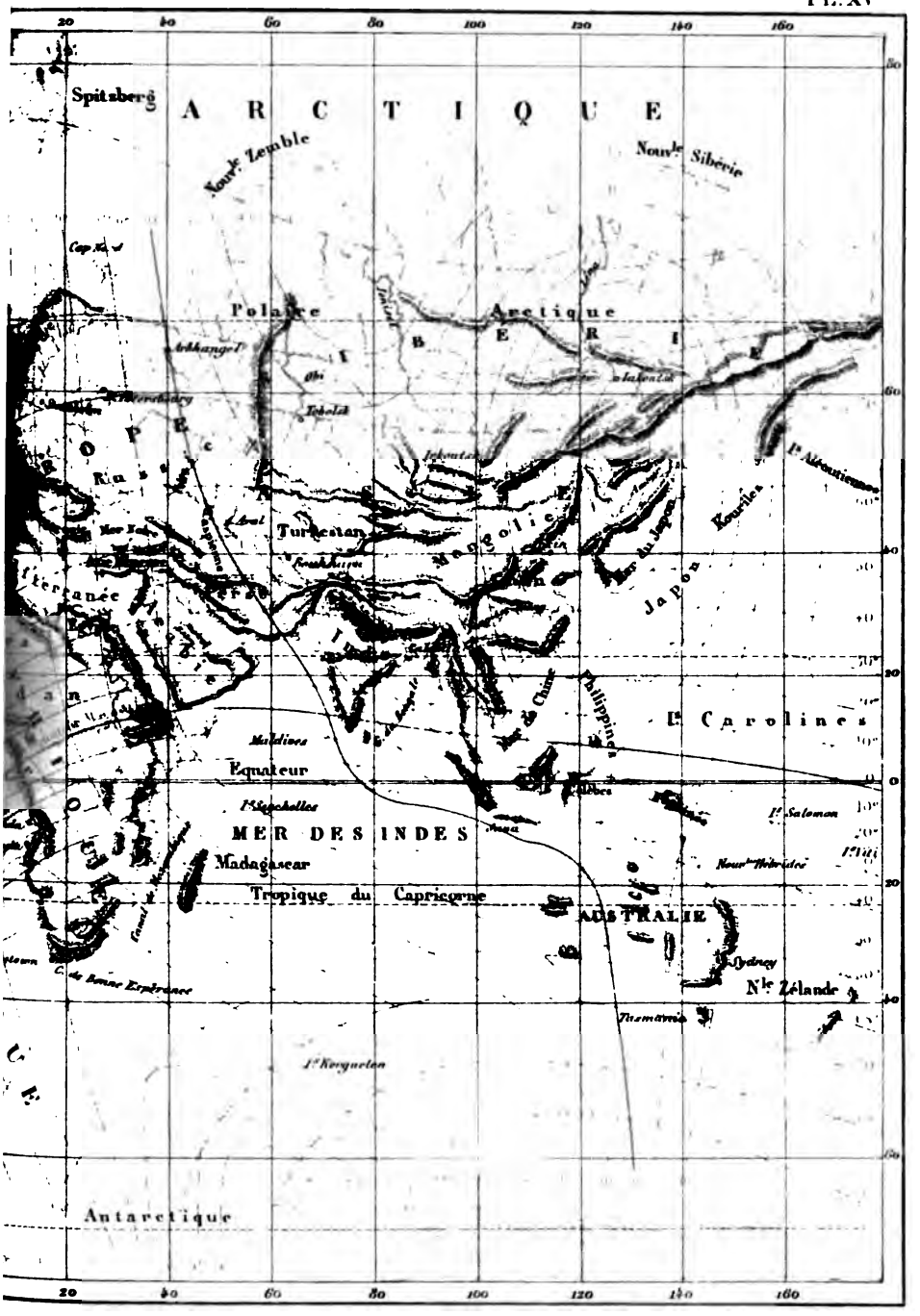
LIBRARY



Gravé par Erhard.

IT ISOCLINES

PL. XV



THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

inégale, puisque la ligne isodynamique de la Floride se replie au nord jusqu'en Scandinavie, et que celle de la Caroline du Sud contourne les rivages américains et va passer au Groenland. Dans les régions australes, il n'existe, actuellement du

LIGNES ISODYNAMIQUES.

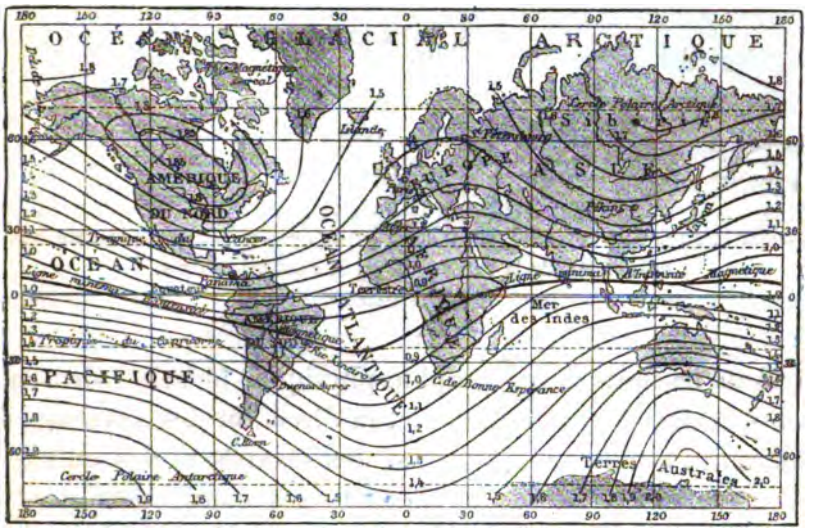


Fig. 150.

moins, qu'un seul pôle dynamique, situé à plus de 16 degrés du pôle planétaire, dans le voisinage des monts glacés découverts par James Ross : c'est là que les mouvements de la boussole ont le plus d'intensité : ils sont près de trois fois plus rapides que dans les mers brésiliennes. Dans les contrées boréales, il y a deux pôles dynamiques : l'un, à l'ouest de la baie de Hudson; l'autre, au nord de la Sibérie, non loin des bouches de la Lena. De même que les isothermes, avec lesquelles elles ont d'ailleurs une grande analogie, les lignes d'égale intensité ont leurs deux pôles occupant une position symétrique, l'un au nord de l'ancien monde, l'autre au nord du nouveau. Ainsi que l'a fait remarquer Duperrey, cette ressemblance des isothermes et des lignes isodynamiques est une preuve du rapport intime qui existe entre le magnétisme terrestre et la température.

CHAPITRE V.

LES CLIMATS.

I.

La chaleur solaire. — Irrégularités des climats locaux. — Égalisation de la température au-dessous de la surface du sol et dans les sources.

Tous les faits de géographie physique, le relief des continents et des îles, la hauteur et la direction des systèmes de montagnes, l'étendue des forêts, des savanes et des cultures, la largeur des vallées, l'abondance des eaux courantes, la forme des rivages, les courants maritimes, les vents et tous les météores de l'atmosphère, vapeurs, brouillards, nuages, pluies, éclairs et tonnerres, effluves magnétiques, ou, plus brièvement, comme le disait Hippocrate, « les lieux, les eaux, les airs, » constituent, dans leurs rapports avec la longitude et la latitude, ce que l'on appelle le climat d'un pays.

Les phénomènes de climat les plus importants sont ceux de la température, car c'est de la chaleur surtout que dépendent les météores dans leurs diverses alternatives à la surface des continents et des mers. Ce sont les régions suréchauffées qui servent de foyer d'appel pour mettre en mouvement tout le système des courants atmosphériques; ce sont elles également qui livrent aux vents de l'espace l'humidité destinée à se disperser en nuages et à retomber plus loin en neiges et en pluies. Par leur action sur la terre et sur les eaux, les rayons du soleil donnent la première impulsion à tout ce qui se meut à la surface du globe : c'est de l'astre lumineux que dépend la vie de notre planète.

La terre, il est vrai, a sa chaleur propre comme tous les corps célestes; mais, quelle que soit la température inconnue des couches profondes, celle de la superficie provient uniquement du grand foyer de calorique dont les rayons vibrent incessamment dans l'espace jusqu'aux astres les plus reculés du système planétaire. Quand le soleil s'élève sur l'horizon, la terre se réchauffe; elle se refroidit quand il descend du zénith; puis, dès que l'astre a disparu, le calorique reçu pendant la journée rayonne à travers l'atmosphère. Les oscillations de chaleur et de froid relatif qu'on éprouve du jour à la nuit et de l'été à l'hiver dépendent toutes des mouvements et des variations du calorique épanché par le soleil sur la terre ou retournant de la terre dans les régions du ciel. Ce sont ces incessantes alternatives que mesure le thermomètre; seulement, puisque la chaleur de l'air et du sol varie en tout temps et en tout lieu, la série des températures qui se succèdent en diverses localités ou même en un seul endroit devient pour ainsi dire infinie, et si l'on veut se rendre compte des phénomènes de chaleur et de froid, il faut obtenir, par la comparaison des instruments, à des heures et à des périodes régulières, des moyennes de la température diurne, mensuelle, annuelle et séculaire. C'est là une œuvre des plus difficiles, car il faudrait d'abord écarter toutes les chances possibles d'erreur, et savoir choisir précisément pour lieu d'observation celui où les indications du thermomètre ne sont jamais modifiées par des causes spéciales, telles que courants d'air ou réverbération de la chaleur. Les influences perturbatrices sont si nombreuses, que l'on n'est point encore sûr d'avoir déterminé d'une manière exacte la vraie température moyenne d'une ville comme Paris, où pourtant des millions d'observations ont été faites. M. Renou affirme même que, depuis cent ans, les météorologistes ont toujours donné par erreur à l'atmosphère de Paris une température trop élevée d'environ 1 degré centigrade. L'emploi des instruments automoteurs, qui tracent eux-mêmes sur le papier, soit par le crayon, soit par la photographie, la série continue des courbes produites par les oscillations de température, diminuera beau-

coup les erreurs probables et facilitera singulièrement la comparaison de tous les résultats obtenus en des localités différentes.

Si la terre était un globe d'une régularité parfaite, n'offrant à sa surface aucun contraste de terre et de mer, de plateaux et de plaines, de neige et de verdure, et se maintenant toujours à la même distance du soleil, une répartition normale des climats s'établirait sur tous les points de la rondeur terrestre, et l'on pourrait mesurer exactement le degré de chaleur par la latitude. A l'équateur, la température serait à son maximum, et, de chaque côté de cette ligne, irait en décroissant jusqu'aux pôles : ainsi que l'a calculé le mathématicien Lambert, la quantité totale de chaleur reçue, évaluée conventionnellement à 1,000 sous l'équateur, ne serait plus que de 923 sous l'un et l'autre tropique, et de 500 au cercle polaire. Mais la terre n'est point cette sphère polie, éclairée d'une manière toujours égale par les rayons du soleil. Elle est illuminée d'une manière différente, suivant les saisons, et les traits de sa surface, aussi harmonieux qu'ils soient dans leur ensemble, n'ont rien de cette symétrie parfaite des figures géométriques. Il en résulte une variété infinie de climats. Tel pays rapproché du cercle polaire reçoit plus de chaleur que telle autre contrée située à une moindre distance des tropiques; telle région de la zone tempérée est brûlante en comparaison de certains espaces de la zone équatoriale. Les températures ne cessent de se déplacer, d'osciller, de s'entre-croiser sous l'action des vents, des courants, des météores, de la végétation : indiquées par des lignes sur le pourtour de la terre, elles forment un lacis inextricable, dont on ne peut reconnaître que les traits principaux. Et chaque saison, chaque jour, chaque minute ajoute encore à l'enchevêtrement de ces diverses températures, car nulle part les évolutions périodiques des climats locaux ne se ressemblent d'une manière complète. Dans les montagnes surtout, la moindre différence d'exposition, le moindre écart d'altitude, font varier la température de deux endroits voisins autant que s'ils étaient séparés l'un de l'autre par des centaines de

kilomètres de distance. A côté des villes d'hiver du littoral de la Provence et des Alpes-Maritimes, Cannes, Antibes, Villefranche, bien chaudement abritées par un amphithéâtre de collines, s'ouvrent, comme des fractures de l'écorce terrestre, les âpres vallées du Var, du Loup, de la Siagne, donnant passage au terrible mistral, qui jadis, dit-on, contribua plus que Marius à chasser les Cimbres des Gaules. Aussi les diverses lignes d'égale température que les météorologistes s'étudient à tracer sur les cartes ne peuvent-elles jamais indiquer que des moyennes générales, des résultantes de toutes les lignes extrêmes s'agitant incessamment de part et d'autre, comme des cordes vibrantes. Et si la température moyenne d'un seul endroit est déjà si difficile à connaître d'une manière exacte, à combien plus forte raison est-il malaisé de déterminer avec précision, pour tout un pays, le climat général formé par la résultante des climats particuliers!

Les nombreuses observations faites en différents lieux de la terre ont démontré que la température moyenne, si longue à trouver avec certitude à la surface du sol, est indiquée d'une manière permanente à une profondeur variable dans le terrain lui-même. En effet, les couches solides qui composent l'enveloppe extérieure du globe, ne laissant passer que très-lentement la chaleur, soit quand elle pénètre au dedans, soit quand elle rayonne au dehors, il en résulte que les variations de la température atmosphérique doivent s'atténuer graduellement et s'oblitérer même en entier à une certaine distance de la surface. En moyenne, la chaleur du jour se propage dans le sol avec une telle lenteur, qu'elle traverse en neuf heures seulement la première couche superficielle de 30 centimètres. A des profondeurs variables de 60 à 130 centimètres, toutes les oscillations diurnes de froid et de chaleur ont complétement disparu sous les climats de la zone tempérée. Les variations annuelles, beaucoup plus durables dans leurs effets, pénètrent à une profondeur plus considérable; mais, par suite du retard qu'elles éprouvent en gagnant les espaces profonds, il se trouve qu'à un petit nombre de mètres au-dessous de la surface, l'ordre des saisons s'est changé : l'été, graduellement

retardé à mesure qu'il pénètre dans le sol, atteint les couches de 6 à 8 mètres seulement quand l'hiver est revenu; de son côté, le froid ne se fait sentir dans ces profondeurs qu'au milieu de l'été. Pour traverser une couche de terrain de 1 mètre d'épaisseur, la température de la surface n'emploie pas moins d'un mois entier, et dans ce lent trajet elle ne cesse de se rapprocher de la moyenne d'équilibre annuel. A Bruxelles, le maximum de chaleur, ayant été ressenti à la surface le 22 juillet, n'atteignit la profondeur de 8 mètres que le 12 décembre suivant, cent quarante-sept jours après; de même l'intervalle entre le froid de la surface, au 23 janvier, et celui de la couche profonde, au 18 juin, fut de cent quarante-trois jours. Quant à l'écart total des températures de l'année, qui est dans cette ville d'une vingtaine de degrés à la surface, il n'est plus que de 1 degré à 8 mètres au-dessous.

La neutralisation complète de l'influence des saisons s'opère à des profondeurs diverses. Dans les caves de l'observatoire de Paris, situées à 28 mètres du sol, la température est constante; elle se maintient toujours à 11°,76. En moyenne, on peut considérer que, dans le nord de l'Europe, toutes les influences extérieures de la chaleur et du froid ont complétement cessé de se faire sentir à 24 mètres de la surface. D'ailleurs, la pénétration du calorique et le rayonnement doivent être d'autant plus rapides, que les terrains sont meilleurs conducteurs et qu'ils sont plus abondamment percés de pores laissant pénétrer l'air de la surface : des expériences faites à Édimbourg par Forbes démontrent que le grès houiller est une des roches qui laissent le mieux passer la chaleur, car l'équilibre de température ne s'y produit qu'à une profondeur de 32 mètres. Dans les contrées où l'écart annuel entre la chaleur de l'été et le froid de l'hiver est très-considérable, c'est relativement très-bas dans le sol qu'il faut chercher le point où se neutralisent toutes les variations annuelles; en revanche, dans les pays où les climats des diverses saisons varient à peine, c'est à quelques décimètres de la surface que s'établit l'égalisation de la température annuelle. M. Boussin-

gault a constaté que pour connaître le climat de Colombie et de l'Équateur, il suffit, en certains endroits, d'introduire le thermomètre à 5 ou 6 décimètres dans le sol. Sous les climats polaires, où la température moyenne est inférieure à zéro, les rares observations que l'on a faites semblent établir aussi que la zone de neutralisation des influences extérieures est plus rapprochée de la surface que sous les climats tempérés : elle aurait, en certains endroits de la Nouvelle-Bretagne, une profondeur de 3 à 5 mètres seulement[1]. A Yakutzk, où la moyenne thermométrique est de — 9°,7, on retrouve la même température à moins de 15 mètres : au-dessous, le sol est de moins en moins froid, sous l'influence de la chaleur propre de la terre, et sans doute vers 130 ou 140 mètres les instruments de sondage arriveraient enfin à des couches de terrain qui ne sont point gelées.

Les sources, comme le sol, peuvent souvent donner la température moyenne d'une contrée, grâce à leur séjour dans les cavités des rochers; c'est même en plaçant un thermomètre dans le bassin des fontaines que les voyageurs cherchent à connaître le climat moyen des régions qu'ils parcourent. Des observations de ce genre sont d'une grande utilité, mais elles ne sauraient remplacer la longue et patiente étude de la chaleur atmosphérique. Telle source est en moyenne plus froide que l'air ambiant, parce que ses eaux sont le produit de la fonte des neiges ou proviennent de pluies tombées sur les pentes de hautes montagnes; telle autre source, légèrement thermale, a parcouru des galeries profondes, où sa température s'est élevée par la chaleur propre de la terre; telle autre a traversé des fissures que refroidissent ou que réchauffent des courants d'air circulant dans les cavernes des monts. Les petites alternatives de chaleur et de froid qu'offrent les fontaines sont analogues à celles que présentent les eaux des fleuves. Toujours plus frais en été et plus chauds en hiver, les cours d'eau ont une température d'autant plus égale qu'ils sont animés d'une plus grande vitesse, et par conséquent soumis pen-

1. Studer, *Physikalische Geographie und Geologie*, t. II.

dant moins de temps aux influences changeantes de l'extérieur. Ainsi, à Lyon, en amont du confluent des deux fleuves, les oscillations de température, pendant les divers mois de l'année, sont de 4 degrés moins fortes dans le Rhône fougueux que

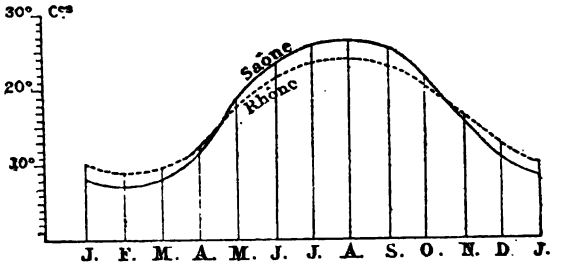


Fig. 151. — Températures ordinaires de la Saône et du Rhône, à Lyon.

dans la paisible Saône. En général, ainsi que l'a démontré M. Renou, la température moyenne des cours d'eau, sauf ceux des pays montagneux, est notablement supérieure à celle de l'air.

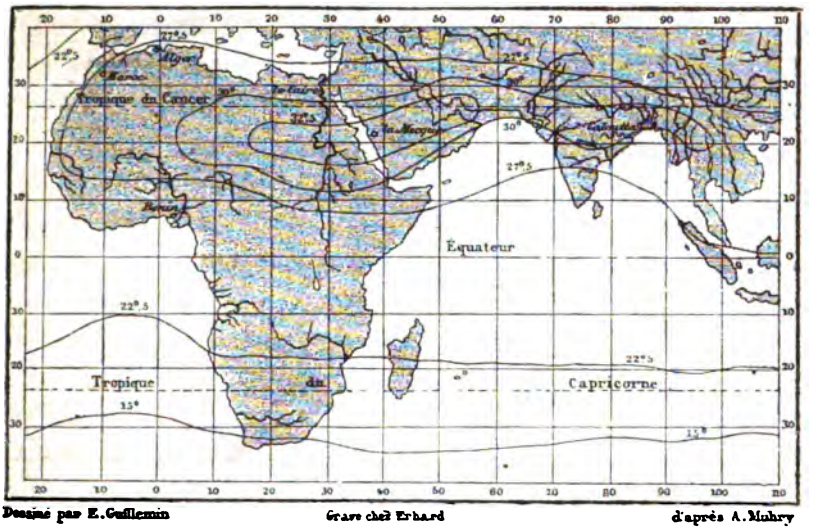
II.

Contraste des climats entre les deux hémisphères du nord et du sud, entre les côtes orientales et les côtes occidentales des continents, entre les rivages et l'intérieur des terres, entre les montagnes et les plaines.

Un des phénomènes terrestres les plus importants est celui de la distribution inégale de la chaleur dans les deux hémisphères. Les observations faites au sud de l'équateur pendant une longue série d'années ne sont pas assez nombreuses pour qu'il soit possible de constater, pour chaque latitude correspondante des deux moitiés du globe, un contraste de climat; mais, pris dans leur ensemble, l'hémisphère du nord et l'hémisphère du sud diffèrent certainement d'une manière notable. C'est là ce que prouvent la puissance des banquises antarctiques comparées aux dimensions de celles du nord, et les grands voyages accomplis par les flottilles des glaces

australes dans leur marche vers l'équateur[1]. Le système des climats, de même que celui des vents et des courants, est attiré

DISTRIBUTION DES TEMPÉRATURES EN JUILLET.



Dessiné par E. Guillemin — Grave chez Erhard — d'après A. Mahry

Fig. 152.

vers le nord; par suite, la ligne de plus haute température qui sépare les deux hémisphères ne se confond point avec la ligne équinoxiale et se trouve rejetée plus au nord; c'est même dans le désert de Sahara, vers le vingtième degré de latitude septentrionale, que passe l'équateur thermique de la terre. Pendant le printemps et l'automne, aussi bien que pendant l'été de l'hémisphère boréal, les plus grandes chaleurs se font sentir non-seulement au nord de la ligne équinoxiale, mais aussi au nord du 12e degré de latitude, dans le voisinage du cercle tropical[2]. C'est uniquement pendant l'hiver de l'Europe et de l'Asie que la zone de plus grande chaleur occupe les régions équatoriales, et même alors il est des régions de l'Afrique, notamment l'embouchure du Niger, où la plus forte température se maintient du côté septentrional de l'équateur. La disproportion qui existe entre les masses continentales situées au

1. Voir, ci-dessus, p. 55.
2. Voir les figures 152 et 153.

véritable nord de température, et celles qui s'étendent au véri-

DISTRIBUTION DES TEMPÉRATURES EN OCTOBRE.

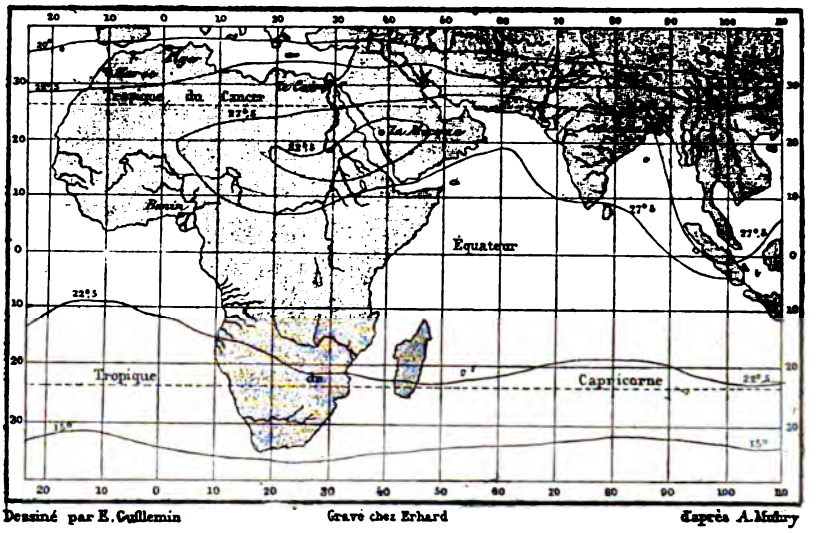


Fig. 153.

table sud, est ainsi beaucoup moins forte qu'elle ne le semble au premier abord.

DISTRIBUTION DES TEMPERATURES EN JANVIER.

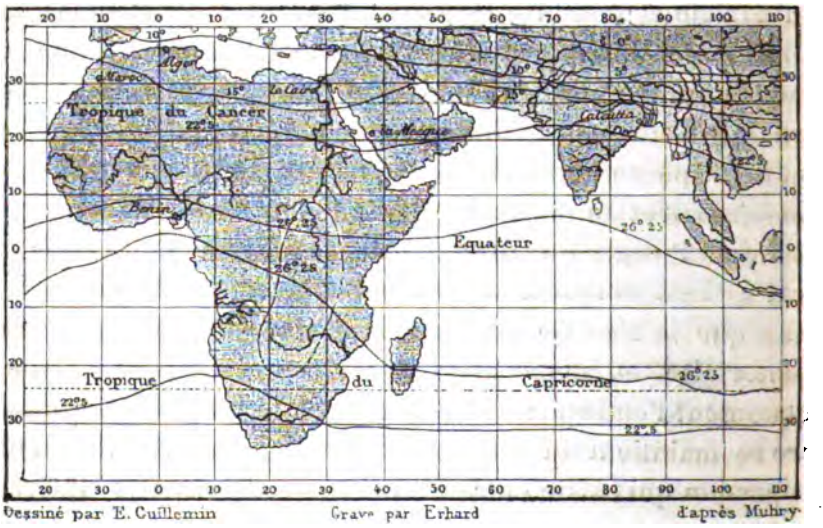


Fig. 154.

Il est probable que la cause première de ce contraste des

climats entre l'hémisphère continental et l'hémisphère maritime est de nature astronomique, et doit être cherchée dans la différence de durée que présentent les deux moitiés de l'orbite planétaire. Le printemps et l'été des régions boréales est plus long que les saisons correspondantes des contrées australes. Il est vrai que, pendant la saison chaude de l'hémisphère du nord, la terre se trouve plus éloignée du soleil, et qu'elle s'en rapproche pendant la période qui, pour l'Europe et l'Asie, est celle de l'automne et de l'hiver. Une compensation pourrait donc se produire dans les deux hémisphères pour la quantité totale de chaleur reçue; mais par suite de l'inclinaison de la planète sur son axe, il se trouve en outre que le nombre des heures de jour est actuellement plus considérable que celui des heures de nuit au nord de l'équateur, tandis qu'au sud ce sont les heures de nuit qui sont les plus nombreuses. Il en résulte que les terres boréales reçoivent plus de chaleur pendant la durée des jours qu'elles n'en perdent par le rayonnement durant toutes leurs nuits, et que le phénomène inverse se produit dans les régions australes[1]. La résultante définitive de tous ces contrastes entre les deux hémisphères n'est point encore établie d'une manière certaine, mais il n'est pas douteux qu'elle ne constitue une différence, soit périodique, soit permanente, entre les climats généraux des deux moitiés de la terre. D'après Dove, la température moyenne serait de 26°,6 au dixième degré de la latitude nord, et seulement de 25°,5 à la latitude correspondante de l'hémisphère austral; au vingtième degré, les moyennes seraient respectivement de 25°,25 et de 23°,37; au trentième et au quarantième degrés des deux hémisphères, il y aurait encore une légère différence à l'avantage des températures boréales. Suivant Duperrey, il y aurait un écart d'environ 1 degré dans la température moyenne des deux moitiés de la terre.

Parmi les causes secondaires qui doivent avoir pour résultat de rendre le climat de l'hémisphère boréal un peu plus chaud que celui de l'hémisphère austral, il faut ranger la dis-

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *la Terre dans l'Espace.*

tribution des pluies. Considérées d'une manière générale, les mers du sud sont l'aire d'évaporation, les continents du nord sont l'aire de précipitation. Quand l'eau de l'Océan se transforme en vapeur, une grande quantité de calorique devient latente et s'envole avec les nuages dont elle dilate les molécules; avec eux elle traverse l'équateur et se laisse entraîner par les contre-alizés; puis, quand ceux-ci s'abattent sur les régions tempérées de l'Europe et de l'Amérique du Nord, les nuées descendent aussi pour se résoudre en neige ou en pluie; en même temps la chaleur latente, emmagasinée dans les vapeurs depuis l'océan Pacifique ou la mer des Indes se dégage et radoucit la température de l'air où elle redevient libre. Ainsi, par le fait même de leur existence, les continents de l'hémisphère boréal attirent à eux la chaleur et l'humidité nécessaires au développement de leur population d'animaux et de plantes; mais ils éprouvent aussi des extrêmes de température plus considérables que ceux de l'hémisphère du sud, où l'immense étendue des océans modère les grands froids et les fortes chaleurs.

S'il y a contraste de température entre le nord et le midi du monde, l'opposition n'est pas moins marquée entre l'est et l'ouest des continents. A égale latitude, les côtes de la Californie et de l'Orégon jouissent d'un climat beaucoup plus doux que ne l'est celui du Japon, de la Mantchourie et de Nicolajewsk; quant à l'Europe occidentale, son atmosphère est aussi tempérée que l'est celle des côtes orientales de l'Amérique du Nord, à 20 degrés de latitude plus près de l'équateur.

Les causes qui adoucissent ainsi le climat des rivages occidentaux dans les deux grandes masses continentales du nord sont dues, cela ne fait l'objet aucun doute, aux courants atmosphériques et maritimes. Tandis que les vents polaires prédominent en Amérique sur les côtes du Labrador, du Canada, du Maine, et sur celles de la Sibérie dans l'ancien monde, les vents équatoriaux soufflent plus fréquemment sur les rivages opposés[1]. En outre, des courants tièdes coulent dans

1. Voir, ci-dessus, p. 322.

l'Atlantique et le Pacifique boréal au-dessous de ces vents du sud-ouest, et les deux courants superposés dégagent constamment leurs effluves de chaleur sur les terres qu'ils baignent de leurs ondes. L'Europe surtout est favorisée sous ce rapport : non-seulement elle est réchauffée à l'ouest par les courants d'eau et les contre-alizés venus de l'équateur; mais, grâce au large espace libre de terres dans lequel les tièdes flots des mers tropicales peuvent s'étaler au nord du continent, elle est moins refroidie par les vents polaires que ne l'est l'Amérique boréale, aux mers obstruées d'îles neigeuses. Tandis que le Labrador et la terre de Hudson ont un sol gelé jusque dans ses profondeurs, l'Europe septentrionale projette ses îles et ses péninsules dans une eau sans cesse renouvelée par les tièdes courants du midi, et ses mers intérieures s'ouvrent comme autant de réservoirs pour maintenir au centre du continent une température égale à celle du pourtour. Ce n'est pas tout : immédiatement au sud de la Mauritanie s'étend l'immense fournaise du Sahara qui réchauffe de ses vents les contrées de l'Europe et l'Asie orientale. Ainsi, sous le rapport du climat, les contrées européennes jouissent d'un privilége spécial. Le nord, l'ouest et le midi se chargent d'en élever la température moyenne, et pendant l'été toutes les mers environnantes emmagasinent de la chaleur pour l'exhaler graduellement pendant l'hiver. L'est seul envoie parfois ses vents secs, très-chauds en été, glacés en hiver; mais les monts Scandinaves, les Sudètes, les Carpathes et les Alpes se dressent comme des barrières au travers de ces vents et en garantissent l'Europe occidentale. On peut se faire une idée de l'influence des vents sur les climats de la France et de l'Angleterre par la figure de la page suivante : tandis que les vents du nord-est, assez rares, élèvent la température estivale de Paris, et dépriment celle de l'hiver presque jusqu'au point de glace, les vents du sud-ouest égalisent le climat, apportant la fraîcheur pendant la saison chaude, la chaleur pendant la saison froide. En moyenne, ainsi que l'a démontré M. Renou, les courants atmosphériques les plus chauds et les courants les plus froids sont ceux qui des régions équatoriales et des régions polaires soufflent perpendiculai-

rement aux lignes isothermiques ou d'égale température [1].

Un autre grand contraste des climats est celui que présentent les rivages de la mer et les régions situées sous la même latitude, à l'intérieur des continents. Par suite du mélange incessant des eaux qui s'opère dans son bassin, la mer égalise les températures; dans les parages rapprochés des glaces, elle roule des eaux tièdes venues de l'équateur; sous les tropiques, elle reçoit l'afflux des courants polaires; le grand tournoiement de ses flots apporte la fraîcheur sous les zones brûlantes et ramène une douce température dans la région des neiges. Grâce à sa mobilité, la mer n'a pas de degrés de latitude pour ainsi dire, elle mêle les climats, atténue sur les rivages qu'elle baigne les extrêmes de chaleur et de froid,

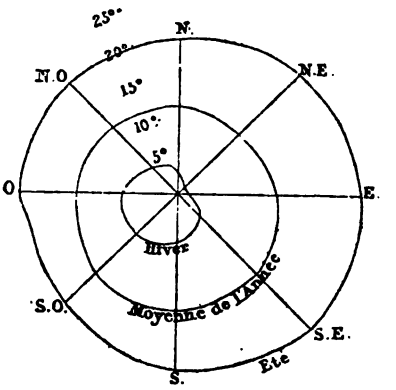


Fig. 155. — Variation de la température à Paris suivant les différents vents; d'après Mahlmann et Lalanne.

maintient dans la marche des saisons une allure beaucoup plus doucement graduée qu'elle ne l'est sur les terres éloignées de l'Océan. De contrées qui subiraient un froid polaire, si elles n'étaient situées au bord des flots, la mer fait des parties de la zone tempérée; elle change l'hiver en une suite de l'automne; elle prolonge le printemps jusqu'en été. Les froids rigoureux et les chaleurs accablantes que l'on subit dans l'intérieur des continents sont complétement inconnus en pleine mer; aucun voyageur n'a encore observé de température océanique supé-

1. Voir, ci-dessous, p. 459.

rieure à 31 degrés[1]. On peut juger de l'influence modératrice de la mer par la comparaison des climats de deux villes se trouvant à peu près dans les mêmes conditions, si ce n'est que l'une est située dans l'intérieur des terres et l'autre sur le rivage de l'Océan. Telles sont notamment Plymouth, baignée par les douces vapeurs de la Manche, et Varsovie, placée presque au centre du continent d'Europe. M. Emmanuel Liais, qui a étudié cette question d'une manière approfondie, a pris pour exemples deux points beaucoup plus rapprochés, Paris et Cherbourg. Bien que cette dernière ville se trouve à peu près à un degré de latitude plus au nord que Paris, la température moyenne y est plus élevée; elle est de 11°,29, celle de Paris étant de 10°,70 seulement. La différence est bien plus grande entre les climats d'hiver des deux villes, puisque pendant une série de neuf années, la température moyenne de trois mois d'hiver était de 6°,6 à Cherbourg et de 3°,30 à Paris. L'écart entre les températures d'hiver des

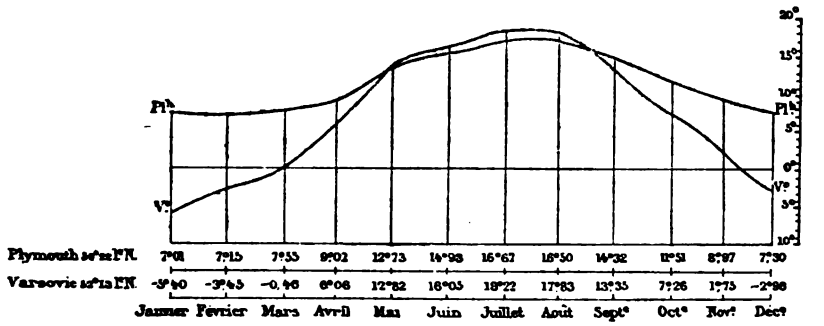


Fig. 156. — Climat continental de Varsovie et climat océanique de Plymouth.

deux localités est d'autant plus fort que le froid est plus intense à Paris, car c'est précisément alors que les eaux relativement tièdes de la mer exercent sur le littoral leur plus grande influence pour adoucir le climat. Par contre, la mer abaisse, en été, la température de Cherbourg, puisque, dans cette ville, le mois le plus chaud est plus froid qu'à Paris de 1°,46. Dans la cité du bord de la Manche, les six mois d'octobre à mars sont plus chauds, tandis que les six mois d'avril à septembre

1. Kämtz, *Meteorologie*.

sont plus frais. Quant à l'écart total entre la plus haute et la plus basse température annuelle, il était à Paris de 43°,3 pendant les quatre années qui se sont écoulées de 1848 à 1852; à Cherbourg, il a été de 36°,7 seulement pendant la même période. Cette différence entre les climats du littoral du Cotentin et de la vallée de la Seine produit une différence correspondante entre les végétations des deux pays. Dans les environs de Cherbourg, les figuiers, les lauriers, les myrtes et un nombre d'autres espèces d'arbres et d'arbustes qui périraient dans le voisinage de Paris prennent un développement remarquable. Il en est de même sur toutes les côtes de Bretagne, et notamment à Roscoff, où l'on voit un énorme figuier, l'un des plus magnifiques monuments du monde végétal.

Le contraste est plus grand encore entre les îles environnées de vapeurs marines, comme l'Irlande ou la Grande-Bretagne, et les régions tout à fait continentales, situées, comme les steppes de la Tartarie ou les plateaux de l'Asie centrale, à plus de 1,000 kilomètres des rivages de l'Océan. Tandis qu'en Irlande, baignée par les eaux du Gulf-stream, une température, comparativement fraîche en été, tiède en hiver, entretient une végétation constante et transforme l'île en une « émeraude des mers », les steppes des Bachkirs, situés sous la même latitude, sont tour à tour torréfiés par la chaleur et glacés par le froid, et la végétation y est des plus appauvries. Dans les environs d'Astrakhan, qui se trouve à la même distance de l'équateur que les vignobles de la Charente, les ceps donnent d'excellents vins, grâce à la forte chaleur de l'été, mais à la condition qu'on les enterre pendant l'hiver pour qu'ils échappent à l'action fatale du froid.

Les autres contrastes de climat observés dans les différents pays à égale latitude proviennent de la diversité des reliefs et des sols. De hautes montagnes changent la température normale d'un pays, soit en arrêtant, soit en détournant les vents chauds ou les vents froids, soit aussi en abaissant la température de l'atmosphère et en la privant de l'humidité qu'elle contenait. Les forêts ont aussi leur action. Elles abritent le sol contre les rayons du soleil, puis, quand la chaleur

reçue par la terre retourne dans les espaces, leurs branches entremêlées sont un puissant obstacle au rayonnement. L'influence générale qu'elles exercent sur le climat est modératrice comme celle de la mer; elles rapprochent les extrêmes de température en rafraîchissant l'été et en réchauffant l'hiver. De même un sol humide et marécageux reçoit plus lentement la chaleur que ne le font les terres arides ou les espaces sablonneux; mais aussi la garde-t-il avec plus de ténacité. Chaque trait extérieur de la planète modifie le climat local et le distingue de tous les climats environnants dans ses oscillations diurnes, mensuelles, annuelles et séculaires.

III.

Isothermes. — Équateur thermique. — Pôles de froid. — Accroissement de la température vers les pôles. — Mer libre.

Humboldt, le premier, eut, il y a cinquante ans, l'idée de réunir tous les points de la terre où la moyenne des températures qui se succèdent pendant l'année donne le même nombre de degrés de chaleur : ces lignes idéales, tracées sur la rondeur de la planète, ce sont les *isothermes*, qui donnent la latitude thermique, bien différente de la latitude géométrique. Tandis que les lignes des degrés tracées de 111 kilomètres en 111 kilomètres parallèlement à l'équateur, sont d'une parfaite régularité et correspondent à d'autres lignes idéales tracées par les astronomes sur la courbe sphérique des cieux, les isothermes s'infléchissent en nombreuses sinuosités de formes différentes dans toutes les parties de la terre. Les diverses causes qui modifient la température d'un lieu et recourbent par conséquent les isothermes vers le pôle ou vers l'équateur ont été énumérées avec le plus grand soin par Humboldt. Parmi ces causes, les principales, après la latitude, sont, on le sait, la direction des courants atmosphé-

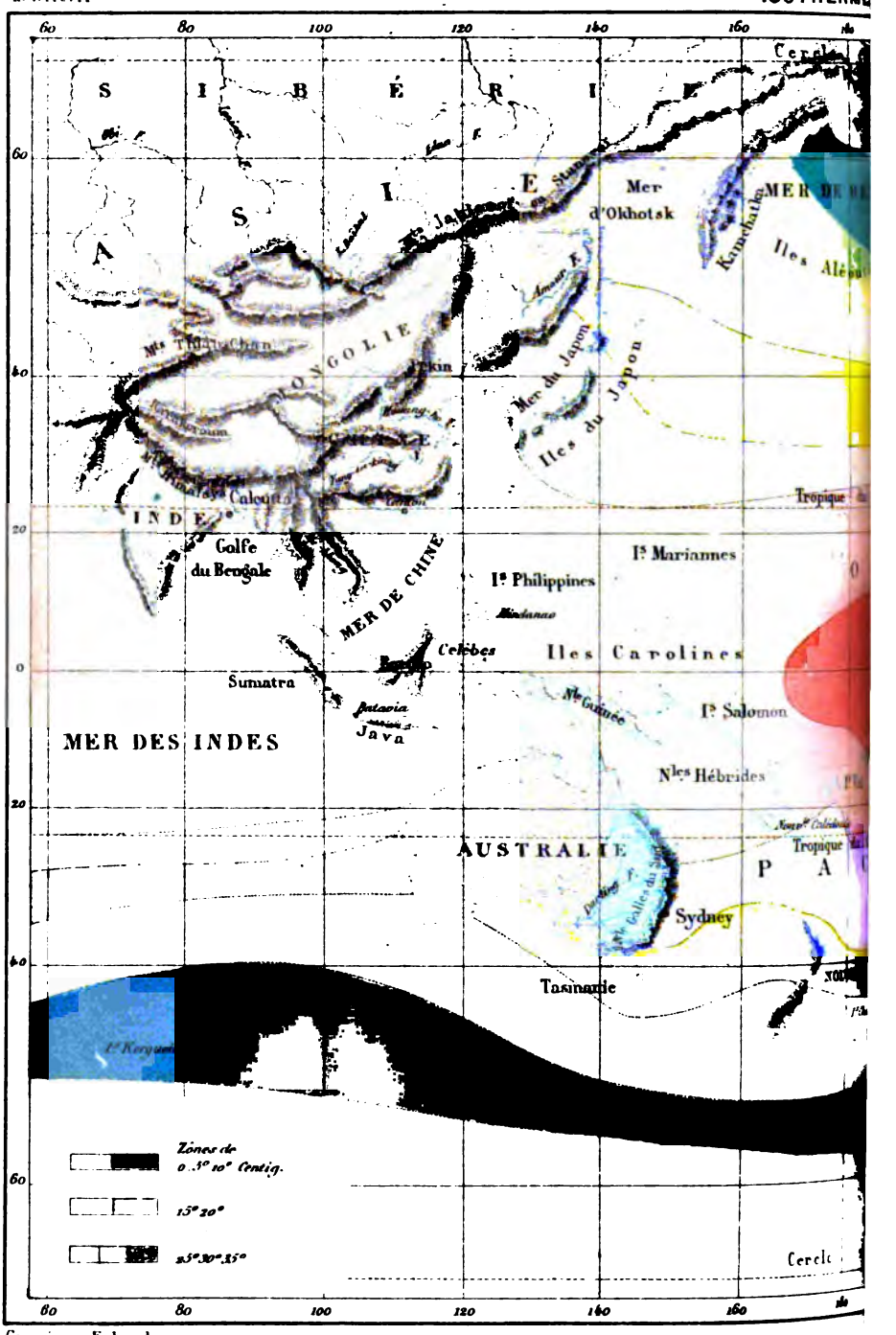
riques et maritimes, la hauteur de la contrée, la disposition des chaînes de montagnes, la forme des côtes, leur orientation relativement aux mers voisines, la nature du sol, celle de la végétation[1].

L'équateur thermique, c'est-à-dire la courbe de plus grande chaleur moyenne, de chaque côté de laquelle la température diminue graduellement vers les pôles, est presque en entier situé dans l'hémisphère boréal, plus chaud que l'hémisphère du sud. D'après les observations des météorologistes, cette ligne traverse l'Amérique près de l'isthme de Panama, au point de jonction des deux continents, puis longe les côtes de la Colombie, du Venezuela et des Guyanes jusque vers l'embouchure du fleuve des Amazones, et là s'infléchit légèrement vers l'équateur. Au delà de l'Atlantique, la courbe de plus grande chaleur, appelée par le puissant foyer du Sahara, la région la plus chaude du monde entier, remonte obliquement à travers le continent africain. On ne sait point encore quelle direction précise suit l'équateur thermique dans ces contrées brûlantes, de même que dans les déserts de l'Arabie et sur les côtes des deux péninsules gangétiques; il est certain seulement qu'en traversant l'ancien monde, il ne cesse de se maintenir au nord de la ligne équinoxiale. Dans la mer de la Sonde et le Pacifique, il s'infléchit de nouveau vers le sud, et peut-être qu'en divers points il pénètre dans l'hémisphère méridional. Vu le manque d'observations thermométriques recueillies pendant un long espace de temps, l'équateur thermique tracé sur les cartes ne peut l'être encore que d'une manière provisoire; c'est une simple approximation, que des recherches subséquentes rapprocheront de plus en plus de la vérité.

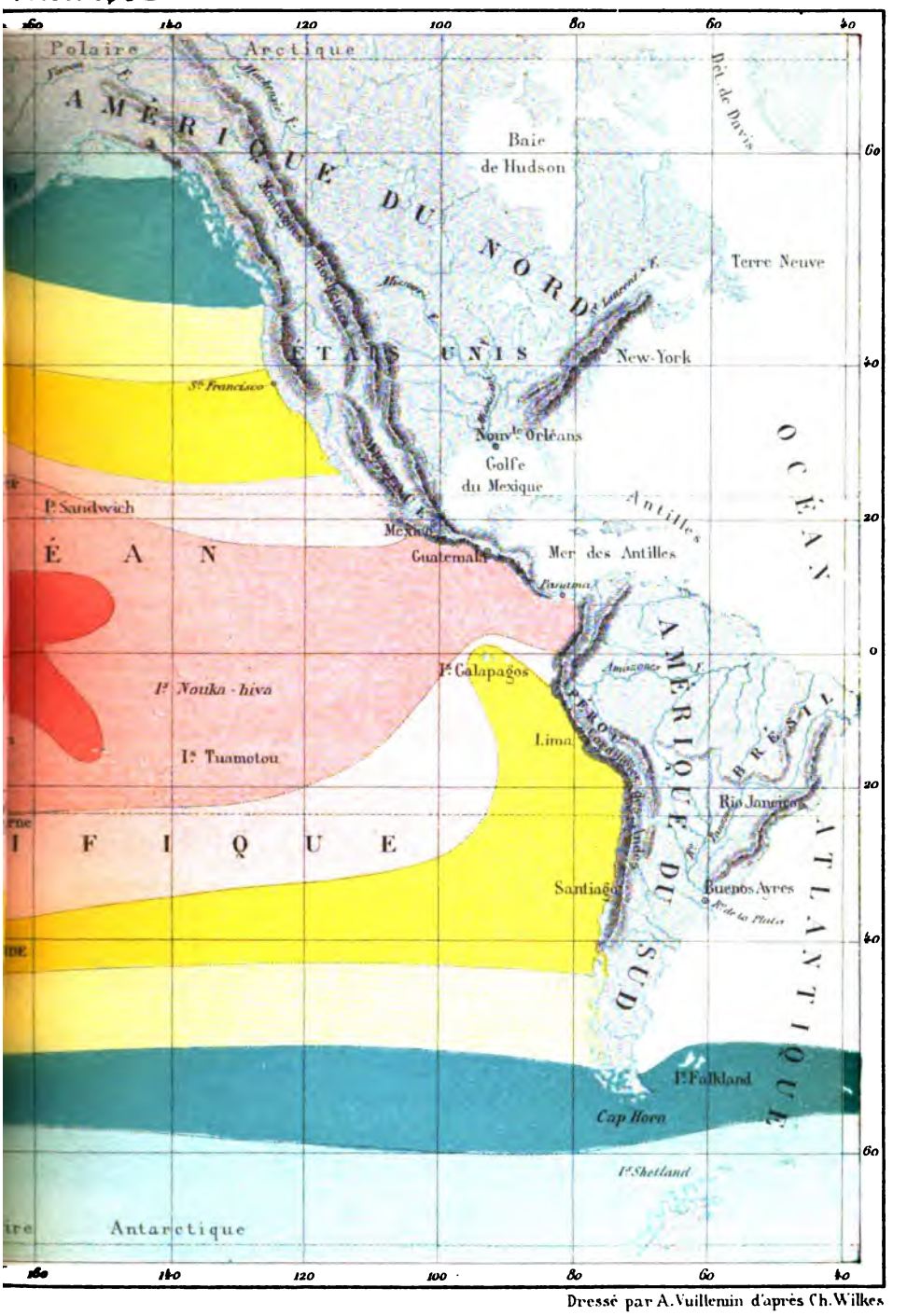
Sur les divers points de cette ligne de plus grande chaleur, la température est loin d'être partout la même. Au-dessus de l'Océan, elle est de 25 ou de 26 degrés; sur les côtes de la Colombie et des Guyanes, elle est de 27 degrés en moyenne; à Calcutta elle atteint 28 degrés; aux bouches du Niger, elle

1. Voir, ci-dessus, p. 454.

LIBRARY
FOUNDA
R L



Gravé par Erhard



Dressé par A. Vuillemin d'après Ch. Wilkes

NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
K L

est beaucoup plus forte (29°,6), et nul doute que, dans l'intérieur de l'Afrique et de l'Arabie, en maints endroits où ne parviennent pas les brises rafraîchissantes de la mer, la température moyenne de l'année ne soit encore supérieure. Les espaces où règne cette chaleur exceptionnelle forment ainsi, sur le parcours de l'équateur thermique, des sortes d'îles dont les contours flottent çà et là, suivant les différences du relief à la surface de la terre et les phénomènes de l'atmosphère. Les recherches de Mahlmann ont prouvé qu'il existe aussi dans la zone tropicale des îles de moindre chaleur et que l'équateur thermique se bifurque autour de régions plus froides.

Au nord et au sud de ces îles isothermiques, d'une température plus haute ou plus basse, se déroulent, sur toute la rondeur terrestre, les sinuosités des isothermes proprement dites. Dans l'hémisphère méridional, où les continents vont en s'amincissant graduellement vers le sud, et où l'influence modératrice de l'Océan tend à fondre tous les contrastes du climat, les lignes d'égale température annuelle semblent être assez régulières, et dans la mer Antarctique elles sont sensiblement parallèles aux degrés de latitude. Les courbures les plus marquées de ces isothermes du sud sont celles qui se développent immédiatement à l'ouest de l'Afrique et de l'Amérique méridionale, sous l'influence des courants d'eau froide qui se dirigent vers l'équateur en longeant les côtes de ces deux continents.

Dans l'hémisphère boréal, les sinuosités des isothermes sont beaucoup plus prononcées que dans l'autre moitié du monde et coupent les degrés de latitude sous les angles les plus divers. Considérées d'une manière générale, les lignes isothermes de l'hémisphère du nord ont la forme d'une double vague dont les crêtes se redressent sur les rivages occidentaux de l'Europe et vers ceux de la Californie, tandis que les dépressions coïncident avec les côtes orientales de l'ancien et du nouveau monde[1]. La vague isothermique la plus élevée

1. Voir, ci-dessus, p. 322 et 456.

est celle qui se redresse au large des côtes de la Nouvelle-Angleterre, de Terre-Neuve, de l'Irlande, et dont le point culminant se trouve au nord des îles Britanniques; on dirait le tracé du Gulf-stream, et c'est en effet ce courant d'eau chaude qui repousse vers le nord tout le système des isothermes. La ligne de 15 degrés centigrades, qui passe sur la côte de la Caroline du Nord, près du cap Hatteras, vient couper le midi de la France, de Bayonne à Montpellier, à 9 degrés de latitude plus au nord. Entre New-York et Dublin, où la température moyenne est la même (10°), la différence de latitude est de 13 degrés; elle est de 16 degrés, près de 1,800 kilomètres, entre Québec et Trondhjem, où passe l'isotherme de 4 degrés centigrades. Enfin l'écart est plus considérable encore pour l'isotherme du point de glace.

Quelles que soient les sinuosités des lignes d'égale température, elles indiquent toutes un décroissement plus ou moins rapide de la chaleur entre l'équateur et les deux zones polaires. Dans l'hémisphère boréal, on a pu tracer approximativement les diverses lignes isothermes jusqu'à celle qui donne une température moyenne de — 15 degrés centigrades, mais au delà, les observations ont été trop rares pour qu'il ait été possible de marquer des lignes dont le tracé ne soit pas presque entièrement hypothétique. La direction générale des courbes rend seulement très-probable que, dans le cercle polaire, il existe au moins deux îles isothermiques de froid correspondant aux îles isothermiques de chaud qui se trouvent dans le voisinage de l'équateur. D'après Brewster, il y aurait, dans l'océan glacial du Nord, deux de ces régions de plus grand froid, véritables pôles météorologiques, se déplaçant incessamment suivant les alternatives des saisons, mais se maintenant dans toutes leurs oscillations à plusieurs centaines de kilomètres de distance du pôle géométrique. L'un de ces pôles de froid se trouverait au nord du continent d'Asie, non loin de l'archipel connu sous le nom de Nouvelle-Sibérie, et la température moyenne en serait de — 17 degrés environ. L'autre pôle oscillerait au milieu des îles occidentales de l'archipel polaire américain, et le froid y dépasserait — 19 degrés

centigrades. Les recherches de Mühry ont rendu très-probable que, dans l'hémisphère antarctique, il existe aussi deux pôles de froid[1]. Les régions dont le climat est le plus rigoureux seraient donc situées sous des latitudes que l'homme a déjà visitées, et par conséquent le pôle proprement dit ne serait point cette formidable citadelle de glaces que les géographes imaginaient autrefois. C'est à tort que l'on croyait à l'existence d'une banquise s'épaississant graduellement vers le centre et recouvrant toute la rondeur polaire; c'est à tort que l'on se figurait les deux extrémités de l'axe terrestre comme à jamais inabordables à cause de l'intensité du froid.

D'ailleurs, les calculs du mathématicien Plana portent à croire que la quantité totale de chaleur reçue s'accroît graduellement du cercle polaire vers la dépression centrale de la zone arctique. D'après les recherches déjà fort anciennes du mathématicien Lambert, on pensait que l'insolation totale à l'équateur étant prise pour 1000, elle n'était plus que de 923 au tropique du Cancer, de 737 au quarante-cinquième degré de latitude, de 500 au cercle polaire, et qu'au pôle elle était représentée par le nombre beaucoup plus faible de 410. Par suite d'éléments négligés dans ces calculs, il se trouverait au contraire que la température moyenne, après avoir graduellement décru du tropique aux limites de la zone glaciale, s'élèverait ensuite d'une manière normale jusqu'au pôle, qui serait ainsi, du moins théoriquement, le point le plus chaud de toute la calotte arctique : les froids seraient moins rigoureux au pôle boréal qu'ils ne le sont sur les côtes de l'Amérique du Nord et de la Sibérie, à 2,600 kilomètres plus au sud. Quoi qu'il en soit, il est certain que, pendant les six mois d'été, l'insolation est plus forte au pôle que sur toute autre partie de la zone boréale, car, suivant l'expression de M. Gustave Lambert, « il est toujours midi » durant l'été polaire, à cause de la position de la planète relativement au soleil. D'après les calculs faits par Halley, il y aura bientôt deux siècles, la moyenne estivale doit augmenter du soixan-

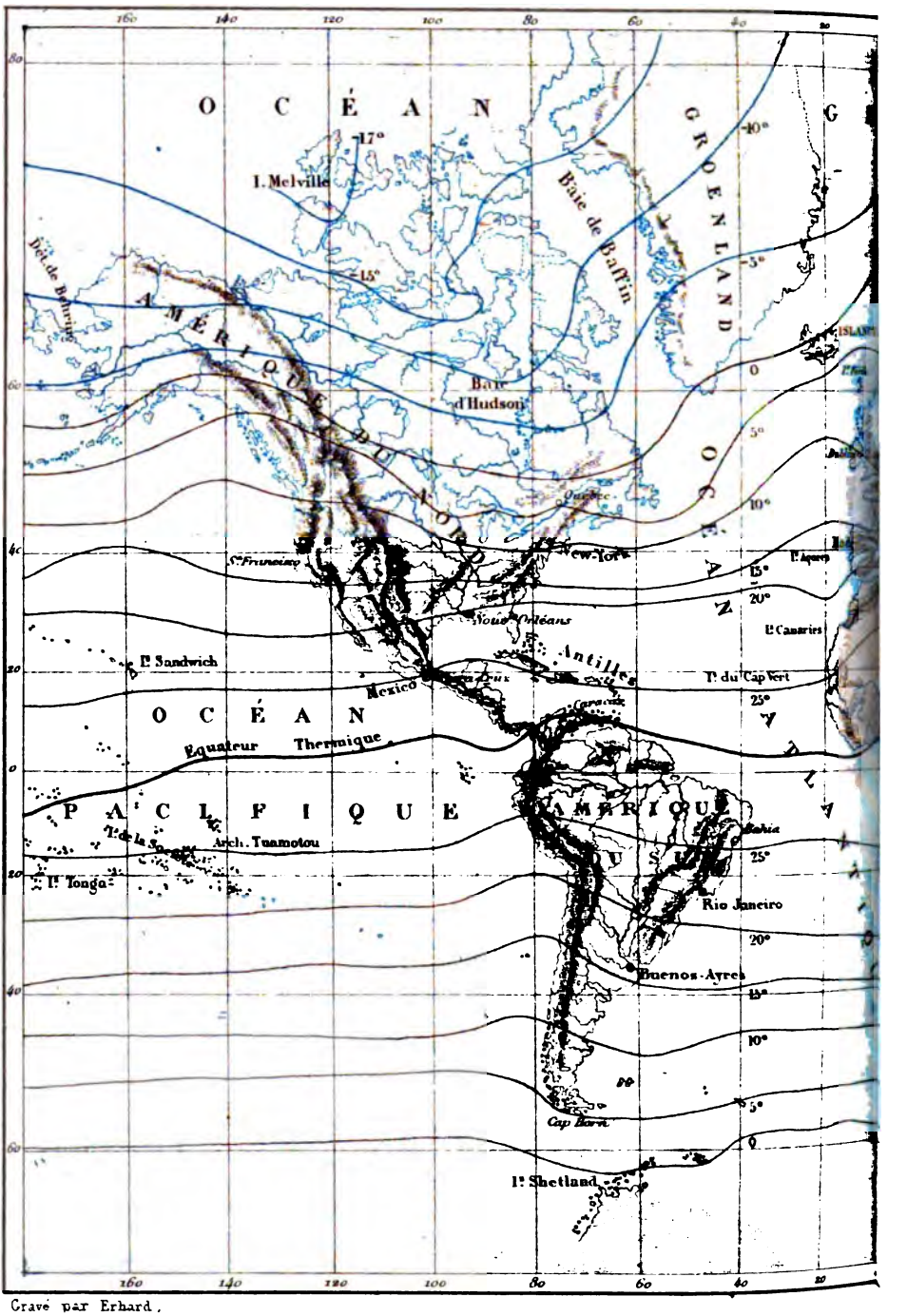
1. *Zeitschrift für Meteorologie von Jelinek*, 1867.

tième degré de latitude au pôle boréal dans la proportion de 9 à 10.

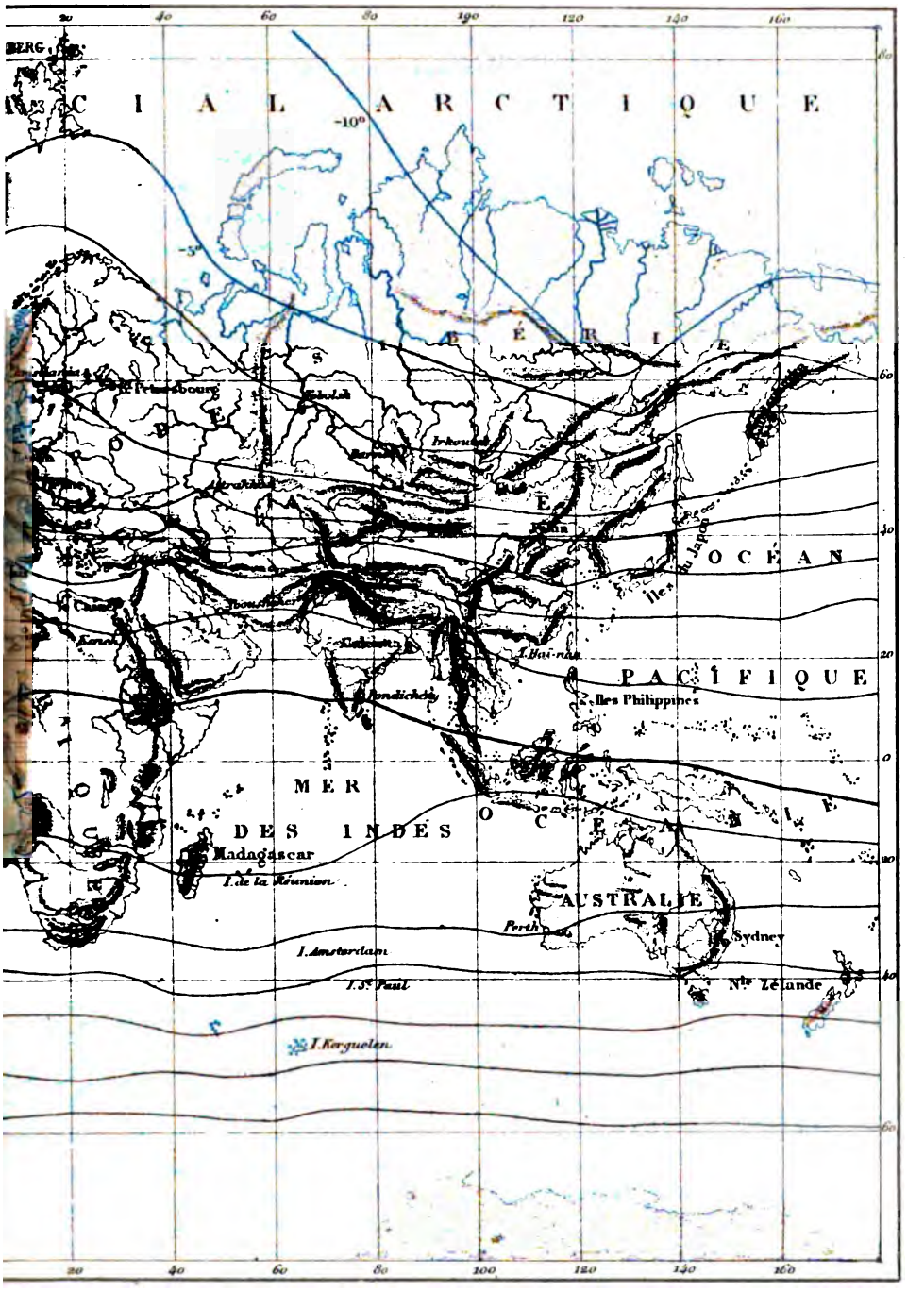
L'expérience des navigateurs polaires a pleinement confirmé les données de la théorie, d'après laquelle la série des isothermes arctiques marquerait un accroissement graduel de la température. Lors de son célèbre voyage en 1827, Parry s'était hasardé avec ses hardis compagnons sur la grande banquise qui s'étendait au nord du Spitzberg. S'imaginant que cette banquise était un véritable continent de glace, il s'était élancé à travers ces régions polaires, comme s'il eût eu à traverser les steppes glacés de la Sibérie; mais, à mesure que les traîneaux avançaient vers le nord, la banquise devenait plus légère et plus fissurée; elle descendait au sud, entraînée par un courant de dérive, et devant les voyageurs, du côté de ce pôle tant désiré, s'étendait au loin une mer libre où flottaient à peine quelques glaçons isolés. Au point extrême de sa périlleuse expédition vers le nord, Kane découvrit aussi une immense nappe d'eau complétement libre de glaces, et cela immédiatement au nord du détroit de Smith, où les fragments entremêlés des débris de glaciers et des banquises forment un dédale si difficile à traverser. Au nord des côtes de la Sibérie, tout encombrées de « toroses », Wrangell et d'autres navigateurs ont également constaté l'existence d'une mer libre, à laquelle on a donné le nom de Polynia. Enfin, dans l'hémisphère antarctique, James Ross a trouvé des parages relativement débarrassés de glace au delà de cette haute muraille à travers laquelle il avait eu à s'ouvrir si péniblement un chemin. Ainsi l'on peut admettre comme probable qu'il n'existe point de calotte de glace continue aux deux extrémités de la terre; il y aurait plutôt une mer libre, à température relativement élevée, et ceinte de toutes parts, soit par des îles et des archipels, soit par une banquise circulaire. Les deux ceintures de glace du sud et du nord seraient, dit M. Charles Grad, comme la représentation visible des lignes isothermes de plus basse température, et, de chaque côté, la rigueur du froid irait en diminuant. Cependant Nordenskiöld, qui, en 1868, a vogué jusqu'à 800 kilomètres du pôle, et qui s'en est ainsi plus rappro-

NEW YEAR
LIBRARY
THE ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

LIGNES IS



Gravé par Erhard.


C I A L A R C T I Q U E
-10°
-5°
Irkoutsk
Iakoutsk
Pétersbourg
Kabul
Pékin
Tokio
Iles du Japon
Canton
Calcutta
Pondichéry
Iles Philippines
O C É A N
P A C I F I Q U E
M E R
D E S I N D E S
O C E A N
Madagascar
I. de la Réunion
I. Amsterdam
I. St Paul
I. Kerguelen
AUSTRALIE
Perth
Sydney
Nle Zélande
20
40
60
80
100
120
140
160

FOUNDATION

ché que tout autre navigateur, croit que l'existence d'une mer libre arctique est une « chimère. »

IV.

Extrêmes de température. — Lignes isochimènes et isothères. — Variations diurnes et mensuelles. — Décroissement de la chaleur dans les couches supérieures de l'air. — Variations des climats pendant la période historique.

L'écart total observé sur divers points de la terre entre les extrêmes de froid et de chaud dépasse de beaucoup 100 degrés. Le capitaine Back a subi, à Fort-Reliance, dans l'Amérique anglaise, une température de — 56°,74; un voyageur russe a constaté près de Semipalatinsk un abaissement de la chaleur à — 58 degrés; à Nichni-Udinsk, en Sibérie, l'extrême observé a été de — 62°,5[1]; bien plus, Gmelin aurait éprouvé (?) à Kiringa, dans la même partie du continent asiatique, le froid vraiment terrible de — 84°,4[2], tandis que M. Duveyrier, voyageant dans le pays des Touaregs, a vu la colonne thermométrique indiquant une chaleur de 67°,7; elle s'y élève souvent à plus de 50 degrés. Ainsi, sans tenir compte de l'observation, probablement erronée, de Gmelin, la série des températures constatées comprend environ 130 degrés, et l'homme a dû fréquemment souffrir, sans qu'il pût les mesurer, des extrêmes de froid et de chaud encore supérieurs à ceux que l'on a régulièrement observés. Déjà sur un même point de la terre, les températures les plus élevées et les plus basses offrent parfois, dans le cours de l'année, l'écart énorme de plus de 80 degrés. Dans les vastes plaines gelées de l'Amérique du Nord, où Back eut à supporter un froid si rigoureux, Franklin éprouva, pendant le long jour estival, une chaleur torride de 30°,5.

1. Hermann Schlagintweit, *Reise in Indien,* Ier vol., p. 417.
2. Thomson; — John Herschel, *Physical Geography,* p. 238.

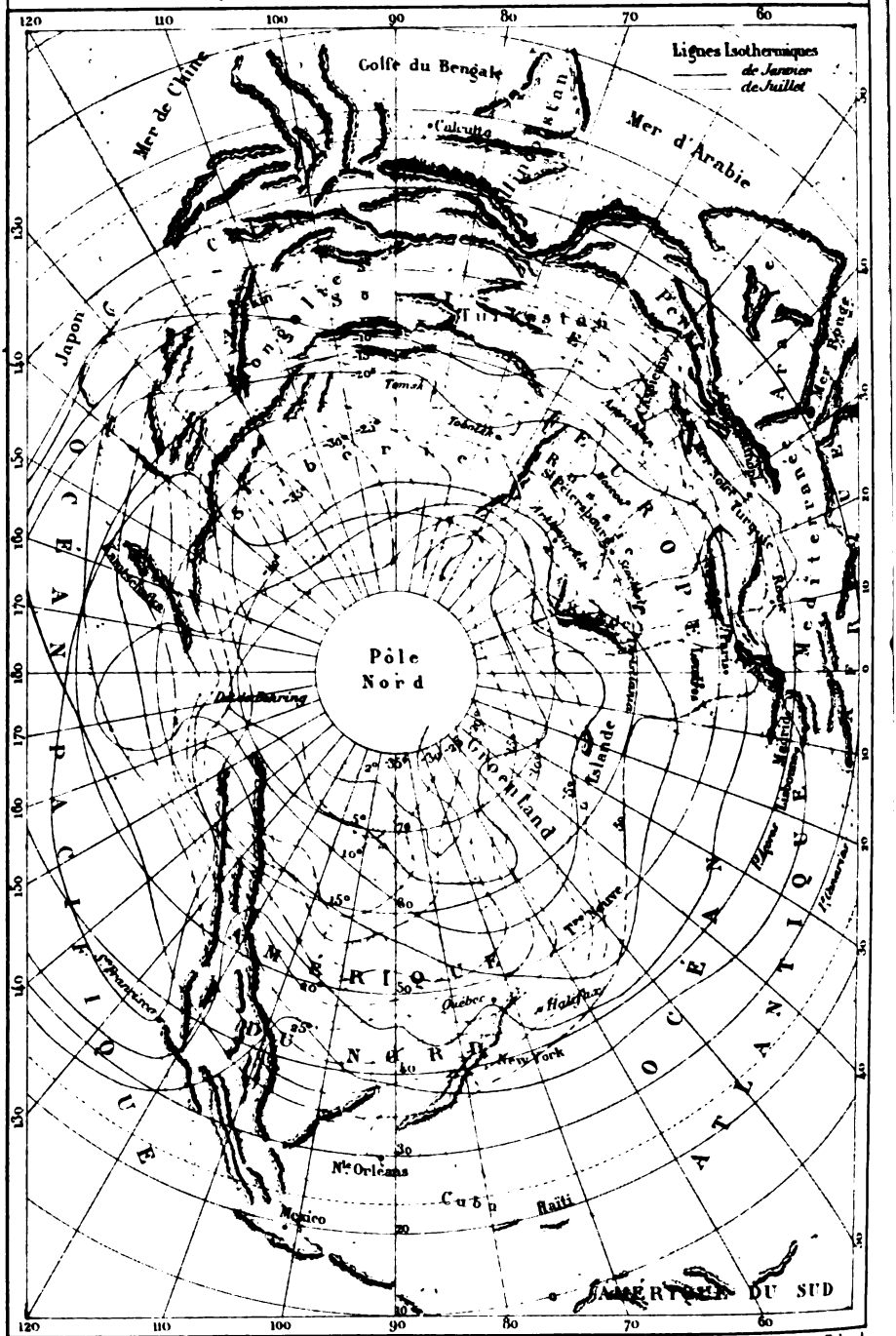
Entre ces deux extrêmes, l'échelle de température parcourue dans l'année est d'environ 87 degrés. Non loin de l'équateur, les régions dites « brûlantes » du Sahara offrent, d'après Duveyrier, un écart thermométrique presque aussi considérable que celui des contrées polaires de la Nouvelle-Bretagne[1]. C'est qu'en dépit de la différence de latitude, les déserts de l'Afrique et les plaines granitiques de l'Amérique du Nord se ressemblent par leur position continentale et l'uniformité relative de leur relief. Éloignées de l'Océan, ce grand égalisateur des climats, et dépourvues de hautes chaînes de montagnes qui puissent arrêter les vents froids ou chauds accourus des divers points de l'horizon, ces contrées doivent subir toutes les brusques alternatives de température. Combien plus égaux sont les climats où l'action modératrice des eaux marines, comme à Surinam, aux Canaries, à Madère, ou bien l'abri que présente un rempart de montagnes, comme sur le littoral des Alpes génoises, maintient une température dont les extrêmes s'écartent seulement de 11 à 30 degrés! En France, pays qui représente une sorte de moyenne par un grand nombre de ses traits physiques, l'écart entre les froids les plus vifs et les chaleurs les plus fortes atteint rarement 50 degrés, et dans les années ordinaires ne dépasse point 45 divisions du thermomètre centigrade. Pendant toute la série des observations météorologiques faites à Paris depuis le siècle dernier, le mercure du thermomètre a oscillé en tout de 61°,5; à Nice, la hauteur totale parcourue a été de 43 degrés.

De cette amplitude plus ou moins grande de l'échelle thermométrique dans les diverses contrées du monde, il résulte que les lignes d'égale température pour chaque saison, et surtout celles de chaque mois, sont beaucoup plus sinueuses que les isothermes de l'année. On donne le nom d'*isothères* aux lignes qui relient toutes les localités où la température de l'été s'équilibre autour du même degré de chaleur; les *isochimènes* sont les courbes tracées à travers les régions qui présentent en moyenne la même température hivernale. On pourrait aussi

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Plaines*.

NEW YORK
LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

LIGNES ISOTHERMIQUES DE JANVIER ET DE JUILLET DANS L'HÉMISPHÈRE BORÉAL



Dressé par A. Vuillemin d'après H. Kiepert. Gravé par Erhard

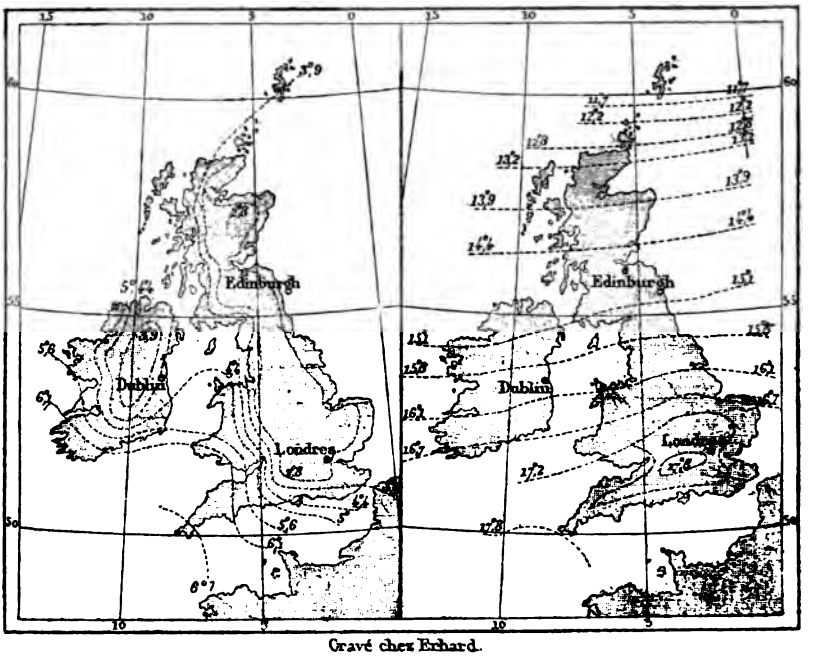
couvrir les cartes de lignes *isoères*, ou d'égale température de printemps, et de lignes *isométopores*, ou d'égale température d'automne; on pourrait même dessiner, à travers les continents et les mers, des *isomènes*, ou courbes de chaleur moyenne, pour chaque mois de l'année; mais les observations météorologiques n'étant point encore assez nombreuses pour que cet immense travail puisse offrir toute la certitude désirable, il vaut mieux se borner provisoirement à l'étude des isothères et des isochimènes, qui ont, sur toutes les autres lignes de température saisonnière ou mensuelle, l'avantage d'indiquer les périodes extrêmes dans les alternatives de la chaleur.

La direction suivie par les isothères et les isochimènes en Europe et dans l'Amérique du Nord est un exemple singulièrement frappant de l'influence que l'inégale répartition des terres et des mers exerce sur les climats. En été, alors que l'hémisphère boréal est incliné vers le soleil et reçoit la plus grande quantité de chaleur, les contrées situées à l'intérieur des continents du nord sont beaucoup plus échauffées que les pays riverains de la mer; pendant la saison des froids, c'est le contraire : les vents et les courants qui viennent de la zone équatoriale tempèrent la rigueur du climat dans le voisinage des côtes, tandis qu'au loin, dans les espaces continentaux, l'influence attiédissante de l'Océan et des courants aériens du sud se fait beaucoup moins sentir. En conséquence, les isothères se recourbent vers le nord dans les deux masses septentrionales de l'ancien et du nouveau monde, et s'infléchissent au sud en traversant l'Atlantique et le Pacifique; par contre, les isochimènes se reploient au sud dans leur passage par les continents d'Amérique, d'Europe, d'Asie, et se reploient en certains endroits à plus de 1,000 kilomètres vers le nord. Le contraste entre les courbes du climat continental et celles du climat océanique devient encore beaucoup plus frappant quand on prend, pour les opposer les unes aux autres, comme l'a fait Kiepert, les lignes isothermiques de janvier, qui est en moyenne le mois le plus froid, et celles de juillet, qui est le mois le plus chaud. Dans la Grande-Bretagne surtout, cette opposition des climats d'hiver et d'été est remarquable. L'in-

fluence bénigne du Gulf-stream et des vents d'ouest va même, ainsi que le montre une moitié de la figure suivante, jusqu'à reployer complétement les lignes isochimènes, qui se développent ainsi du sud au nord, au lieu de courir de l'ouest à l'est, parallèlement aux degrés de latitude.

CLIMAT DES ILES BRITANNIQUES.

Lignes isochimènes. Lignes isothères.



Gravé chez Erhard.

Fig. 157.

On comprend l'influence décisive que doivent exercer sur les plantes et sur les animaux ces inégalités, offertes, dans leurs alternatives de chaleur, par des régions ayant d'ailleurs la même température moyenne : telle espèce qui supporte bien les rigueurs de l'hiver sans craindre les ardeurs de l'été se propage sur de vastes régions dans l'intérieur des continents; telle autre espèce qui redoute les basses températures hivernales ne dépasse pas, loin des côtes de l'Océan, des latitudes qu'elle franchit de plusieurs degrés dans le voisinage de la mer. Ainsi l'élan vit dans cette péninsule de Scandinavie que baignent les eaux tièdes du Gulf-stream, à 1,100 kilomètres

plus au nord que dans la Sibérie aux froids et aux chaleurs extrêmes[1]. Quant à l'homme, il sait par ses vêtements, la forme de ses demeures et sa nourriture, contre-balancer en partie les influences du milieu et ses changements trop soudains; mais le problème de l'acclimatement n'en est pas moins des plus graves pour lui, et nombre d'émigrants meurent avant l'âge, tués par le climat.

Le tracé des diverses lignes isothermiques repose en grande partie sur de simples probabilités, puisque, entre tous les points dont la température a été observée pendant une période plus ou moins longue d'années ou seulement de mois, il reste çà et là de très-larges intervalles où nulle mesure thermométrique n'a encore été faite. Ce sont des espaces à travers lesquels les météorologistes ne pourront dessiner avec certitude leurs lignes d'égale température tant qu'ils n'auront pas à les appuyer sur une série d'observations précises. Des milliers de personnes, aux États-Unis, au Canada, dans les Antilles, dans l'Hindoustan et l'Afrique méridionale, ont joint leurs efforts à ceux de tous les savants officiels, pour noter les innombrables oscillations de chaleur et de froid qui, par leur groupement, doivent révéler les lois de la température. Jour après jour, ils constatent les variations horaires, qui leur permettent ensuite d'établir la chaleur moyenne du jour, du mois et de l'année, puis de comparer le lieu dont ils ont étudié le régime à d'autres localités où les alternatives du froid et du chaud se succèdent d'une manière plus ou moins analogue.

Des centaines de millions de variations horaires observées depuis un siècle en diverses parties du monde il ressort que la plus forte chaleur de la journée se fait sentir en moyenne entre une et deux heures de l'après-midi, tandis que la plus basse température précède d'une heure ou seulement d'une demi-heure le lever du soleil. Il est facile de comprendre pourquoi les extrêmes de chaud et de froid ne coïncident point exactement avec le milieu du jour et celui de la

1. Voir les deux chapitres suivants.

2. Voir, ci-dessous, les chapitres intitulés *la Terre et l'Homme* et *le Travail de l'Homme*.

nuit. Après l'heure de midi, quand le soleil redescend vers l'horizon, les rayons de l'astre continuent de réchauffer le sol et l'atmosphère; c'est plus tard seulement que la perte de chaleur, causée par le rayonnement, équilibre, puis surpasse le gain, et que la température commence à s'abaisser. Pendant la nuit, le phénomène contraire se produit; la terre et l'atmosphère qui l'entoure ne cessent de se refroidir jusqu'à ce que l'aurore annonce la prochaine apparition du soleil, et que le rayonnement nocturne soit compensé par la chaleur croissante du jour nouveau. Dans l'île de Java, c'est quelques minutes après une heure de l'après-midi que la chaleur diurne atteint son maximum, et c'est en moyenne un peu avant six heures du matin qu'elle se trouve à son minimum. A Paris, d'après les observations de Bouvard, la température la plus haute (14°,47) se fait sentir à deux heures de l'après-midi; la température la plus basse (7°,13) tombe à quatre heures du matin, et la chaleur moyenne du jour, qui est en même temps celle de l'année (10°,68), revient aux périodes correspondantes de 8 heures 20 minutes du matin et de 8 heures 20 minutes du soir.

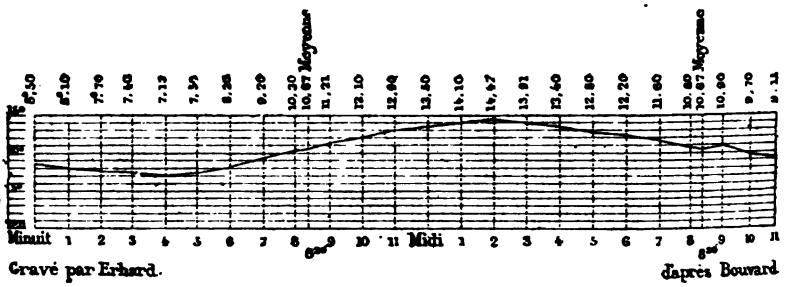


Fig. 158. — Variations diurnes de la température moyenne à Paris.

Les variations mensuelles offrent, dans leurs oscillations normales, le même phénomène que les variations horaires. C'est rarement au solstice de juin que l'hémisphère boréal jouit de la plus forte quantité de chaleur ni au solstice de décembre qu'il subit les froids les plus rigoureux. Quand le soleil a cessé d'éclairer du zénith les contrées situées au-dessous du tropique du Cancer, la chaleur augmente encore jusqu'en juillet et même jusqu'en août dans un grand nombre de régions

situées vers le pôle boréal et dans les pays de montagnes; en revanche, les grands froids de l'hémisphère du nord continuent et s'aggravent quand déjà les rayons solaires lui apportent une quantité croissante de chaleur. En Europe et dans l'Amérique du Nord, c'est le mois de janvier qui est ordinairement le plus froid; il est même des villes, comme Palerme, Gibraltar, la Nouvelle-Orléans, où la température la plus basse de l'année tombe en février, à peine un mois avant l'équinoxe du printemps. Dans le Groenland occidental, par le 79e degré de latitude, Kane a trouvé que mars était le mois le plus froid, comme il l'est aussi parfois en Alsace [1]. Le plus grand abaissement de la température a lieu précisément au matin de l'année, de même que, pendant chaque période diurne, il se fait sentir au matin du jour.

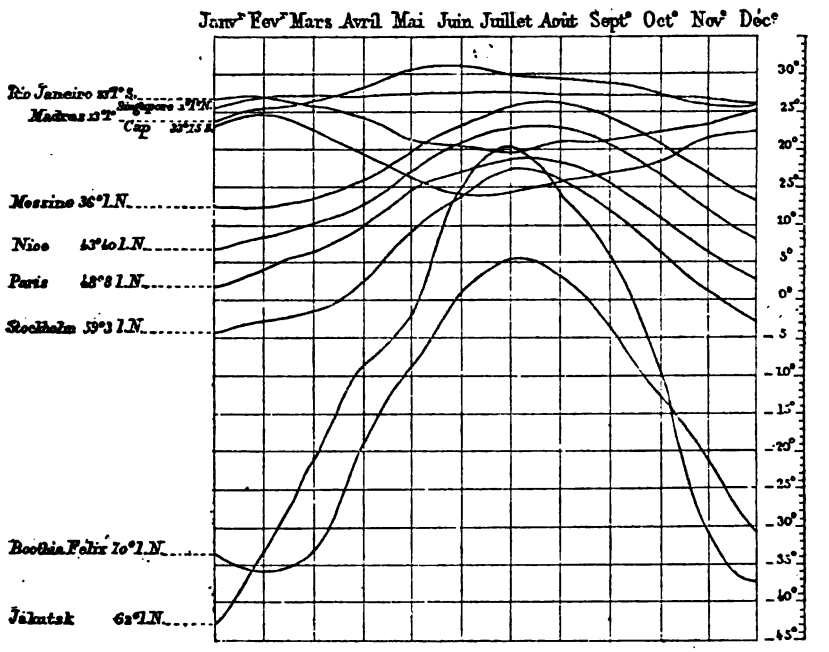


Fig. 159. — Variations mensuelles de la température en divers lieux.

Dans le voisinage de l'équateur, éclairé par un soleil vertical, les variations mensuelles de température sont beaucoup

1. Charles Grad, *Climat de l'Alsace et des Vosges*, p. 39.

moins importantes que dans les contrées situées en dehors des tropiques, et dépendent beaucoup plus de la direction des vents et de l'alternance des pluies et des sécheresses que de la position du soleil sur l'écliptique. C'est ainsi qu'à Singapore, la différence totale entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est à peine de 2 degrés. Au sud de la ligne équinoxiale, les variations mensuelles deviennent de plus en plus considérables, mais en ordre inverse de celles que l'on constate dans l'hémisphère du nord. Il résulte des recherches de Dove qu'en prenant la moyenne de toutes les températures sur la terre entière, c'est le mois de juillet qui est le plus chaud de toute l'année.

Pour se rendre compte de la variation moyenne de la chaleur et du froid de mois en mois et aux différentes heures de la journée, les météorologistes ont eu l'ingénieuse idée de tra-

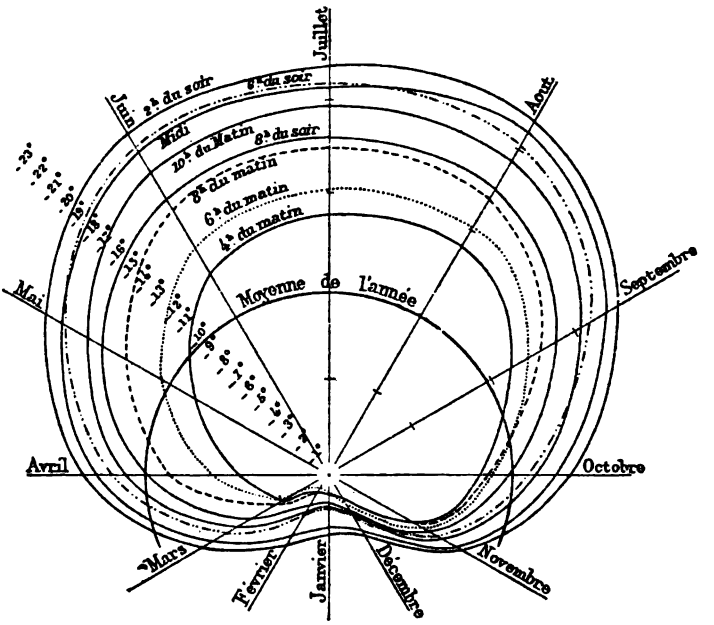


Fig. 160. — Températures des mêmes heures dans les différents mois à Bruxelles; d'après Quételet.

cer des courbes qui, par leur écartement du point central pris comme zéro, indiquent la température horaire pour chaque mois

de l'année. Nous donnons, en exemple de ces diagrammes, une figure (160) qui permet de lire la température de diverses heures

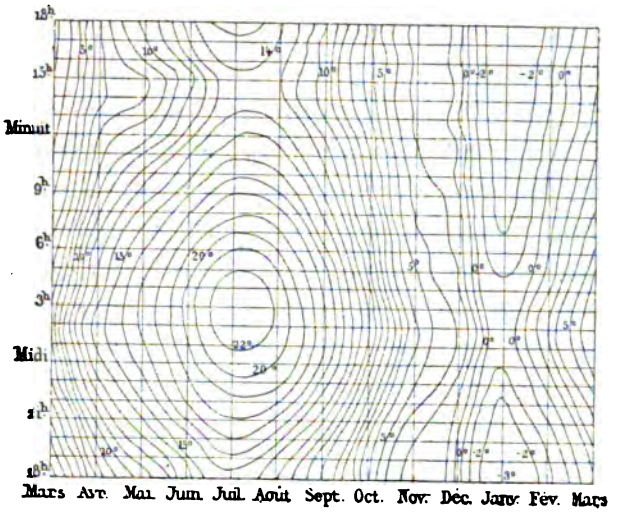


Fig. 161. — Variation de la température moyenne mensuelle par heure à Halle.

à Bruxelles pendant tout le cycle de l'année. Une autre figure très-élégante (fig. 161), dessinée par M. Léon Lalanne d'après les données de Kämtz, représente les courbes thermométriques

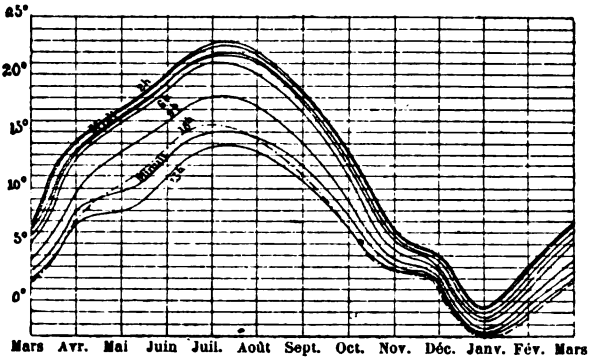


Fig. 162. — Température des différentes heures à Halle.

à toutes les heures du jour suivant les mois : c'est le point de rencontre des lignes horizontales et des lignes verticales qui indique le degré de chaleur. Ainsi qu'on le voit par la figure 162, construite avec les mêmes éléments, l'écart des températures entre le jour et la nuit est beaucoup plus grand en été qu'en

hiver; en outre, les courbes font voir nettement qu'au grand été succède un petit été, dit de la « saint Martin, » et qu'en mai se fait ordinairement sentir une recrudescence de froid.

Au-dessus de la surface du sol, les météorologistes observent en général dans les couches atmosphériques un décroissement de la chaleur, analogue à celui qui s'opère de la zone torride à la zone glaciale. L'air des régions supérieures et celui qui pèse sur les hautes montagnes doit nécessairement baisser en température d'autant plus qu'il se rapproche davantage des froids espaces interplanétaires. Or les rayons du soleil ayant plus de force d'échauffement sur le sol des montagnes que dans les plaines, ainsi que le démontrent l'observation directe et les merveilleuses couleurs des petites fleurs si odorantes des Alpes, c'est à la raréfaction des couches d'air qu'il faut attribuer le refroidissement graduel de la température sur les pentes des montagnes. Les recherches et les expériences des physiciens ont prouvé que l'air laisse passer les rayons lumineux beaucoup plus facilement que les rayons obscurs : il résulte de ce fait que la chaleur versée journellement par le soleil traverse en grande partie toute l'épaisseur des airs pour aller réchauffer la surface de la planète, tandis que la chaleur rayonnant du sol durant les nuits ne peut s'échapper dans l'espace qu'en petites quantités. Les couches inférieures de l'atmosphère agissent comme de véritables écrans pour arrêter les rayons émanés de la surface terrestre et prévenir ainsi le refroidissement de la planète. Toutefois les pentes et les cimes des montagnes sont par cela même privées, en proportion de leur hauteur, des effluves qui réchauffent les plaines situées à leur base; elles s'élèvent en des espaces d'autant plus refroidis que ceux-ci sont plus éloignés verticalement des couches d'atmosphère épaisse étendues au-dessous.

Quelle est, en moyenne, la proportion suivant laquelle la chaleur s'abaisse de la base au sommet des montagnes? Il est difficile de l'établir d'une manière exacte; la température s'abaisse rarement d'une manière tout à fait régulière de la superficie du sol et de l'Océan jusque dans les hauteurs de l'atmosphère, car les vents, les nuages et les autres météores

modifient incessamment le régime des couches aériennes, et souvent ceux qui s'élèvent sur le flanc des montagnes pénètrent d'une zone relativement froide dans une zone d'une température plus élevée. L'ordre des climats se trouve interverti. C'est ainsi que, pendant l'hiver de 1838 à 1839, le froid était de — 20° à Andancette, sur le bord du Rhône, tandis que dans les montagnes de Saint-Agrève, à 1,125 mètres plus haut, il était de — 12°. M. Glaisher a fréquemment constaté des phénomènes de ce genre, soit des accroissements continus de chaleur, soit des « sautes » de température soudaines, à mesure qu'il s'élevait dans l'atmosphère. Dans son ascension de Wolverton, en 1863, où il monta jusqu'à plus de 7,000 mètres, il se trouvait encore à cette hauteur au milieu de nuages pluvieux, tandis qu'à 2 kilomètres et demi plus bas, il traversait une immense couche neigeuse, d'une épaisseur de 1,800 mètres. En général, la diminution de la température dans les hauteurs atmosphériques est beaucoup plus régulière par un ciel couvert de nuages que par un temps sec [1]. M. Prestel a prouvé, par de longues et précises observations, que dans la partie de l'air qui repose immédiatement sur le sol, la chaleur augmente d'une manière constante de bas en haut, jusqu'à 9 mètres au moins [2]. Par suite de perturbations météorologiques, cette zone de température croissante peut s'élever parfois à une hauteur considérable au-dessus de la surface terrestre.

Malheureusement les séries d'observations régulières faites à une grande élévation sont rares encore, et même en Suisse, où tant d'hommes éminents s'occupent de recherches scientifiques, il n'existe, au-dessus de 600 mètres, guère de stations dont les moyennes mensuelles de température soient constatées avec certitude. C'est donc seulement d'une manière approximative que l'on a pu calculer les lois suivant lesquelles la chaleur diminue dans les hauteurs de l'air pendant les diverses saisons. De Saussure, auquel revient l'honneur d'avoir

1. Marié Davy, *les Mouvements de l'Atmosphère*, p. 104. — *Voyages aériens*, p. 86, 106.

2. *Zeitschrift für Meteorologie von Jelinek*, 1er janvier 1867.

fait le premier des observations de ce genre, constata que, sur les pentes occidentales du mont Blanc, le décroissement de la température pendant la saison chaude était de 1 degré par 165 mètres environ. En tout cas, il est désormais certain que, durant l'été et en plein jour, les couches aériennes de température différente sont beaucoup plus minces qu'en hiver et durant la nuit. On peut dire d'une manière générale, avec Helmholz, que la chaleur diminue de bas en haut de 1 degré centigrade par intervalles de 160 mètres en été et de 240 mètres en hiver, sur les flancs des montagnes de la Suisse; pour l'année entière, d'après M. Charles Martins, les intervalles moyens seraient de 172 à 173 mètres. Depuis, le résumé de toutes les observations connues a fourni à M. Mühry un chiffre plus élevé, celui de 200 mètres par degré centigrade [1]. Du reste, chaque montagne diffère sous ce rapport, et sur les cimes isolées, comme le Ventoux, les climats superposés sont beaucoup plus rapprochés les uns des autres que sur les flancs des hauteurs qui font partie de vastes systèmes montagneux.

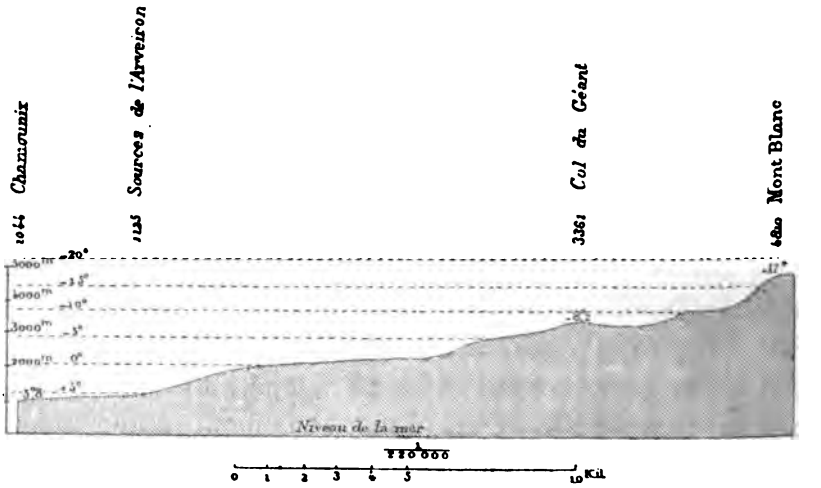


Fig. 163. — Succession des climats sur les pentes du mont Blanc.

Studer évalue à 400 mètres la hauteur moyenne à laquelle passe l'isotherme de 10 degrés dans les massifs alpins; l'iso-

1. *Allgemeines Klima der Schweiz.*

therme de 5 degrés planerait à 1,300 mètres au-dessus du niveau de la mer; celle de la glace fondante contournerait les monts à 2,200 mètres, et la température continuerait de diminuer ainsi de 1 degré par 180 mètres jusqu'aux nues les plus élevées. Ainsi, dans les cartes qui représentent le relief des montagnes par des courbes de niveau concentriques, ces courbes peuvent servir à figurer non-seulement l'accroissement de l'altitude, mais en même temps l'abaissement de la chaleur moyenne : ce sont comme des degrés de latitude superposés. Les observations des aéronautes ont rendu probable que, dans les hauteurs de l'atmosphère, l'intervalle s'agrandit de plus en plus pour chaque décroissement de température de 1 degré. Sur les limites de l'océan aérien, toute la chaleur que les rayons du soleil donnent à la terre finit par disparaître, et les froids de l'espace règnent jusqu'aux planètes voisines.

L'étude des climats qui règnent actuellement à la surface du globe doit se compléter par celle des changements survenus pendant la période historique; malheureusement les premières observations météorologiques datent d'une époque très-rapprochée de nous, et les faits trop peu nombreux ou même incertains sur lesquels on s'appuie pour arriver indirectement à connaître le régime de la température dans les siècles antérieurs, n'autorisent point les savants à formuler de loi précise sur la modification des climats. Depuis longtemps déjà, Arago avait essayé d'établir par des considérations très-ingénieuses que, dans l'espace des trente derniers siècles, la Palestine n'a cessé de jouir d'une température de 21 degrés à 21 degrés et demi, car aujourd'hui, comme aux temps de l'histoire des Juifs, la limite septentrionale de la zone où mûrissent les dattiers et la limite méridionale de la zone des vignes coïncideraient sur les bords du Jourdain[1]. Que la température moyenne soit restée à peu près la même dans cette contrée, cela est possible, mais il n'en est pas moins certain que sous d'autres rapports le climat de la Palestine a singu-

1. *Annales des longitudes*, 1834.

lièrement changé. Il y a trois et quatre mille ans, de vastes forêts habitées par des ours couvraient certaines parties du territoire, et des prairies où les brebis paissaient par centaines de milliers s'étendaient dans les vallées. De nos jours, ce pays, jadis « découlant de lait et de miel, » ne reçoit plus même assez d'eau pour qu'il se forme sur le sol une légère couche d'humus. Les découvertes archéologiques faites en Égypte ne peuvent non plus laisser aucun doute au sujet d'un changement de climat des plus considérables dans la vallée du Nil pendant les soixante ou soixante-dix siècles derniers. Les fleuves qui poussaient des rochers devant eux n'ont plus même une goutte d'eau dans leur large lit; les grandes cités, jadis entourées de cultures, sont perdues au milieu de solitudes presque infranchissables; la faune, la flore anciennes ont disparu; le chameau, autrefois inconnu aux Égyptiens, a fait son apparition : il s'est avancé peu à peu, gagnant incessamment avec les limites du désert[1]. Il est probable que le désert n'existait pas à l'époque où d'immenses glaciers s'avançaient au loin dans les vallées de l'Europe occidentale. Dans nos contrées de l'ouest, les modifications du climat n'ont certainement pas eu autant d'importance qu'en Orient; il est probable cependant que le régime de la température s'y est notablement altéré, ainsi qu'Arago lui-même était porté à le croire ; c'est là ce que prouverait, d'après lui, la rétrogradation graduelle des vignobles vers le midi. De nos jours, on ne cultive plus la vigne sur les bords du golfe de Bristol, ni dans les Flandres, ni dans la Bretagne, et ces contrées, que les chroniques, peut-être trop louangeuses, nous disent avoir produit des vins exquis, ne donnent actuellement de raisins mûrs que dans les années exceptionnelles. Des titres de propriété remontant jusqu'à 1561 constatent, dit M. Fuster, qu'on vendangeait autrefois à des altitudes de 600 mètres sur les flancs des montagnes du Vivarais, là où la vigne ne porte plus de fruit pendant le siècle actuel. De même dans les environs de Carcassonne, la culture de l'oli-

1. Oscar Fraas, *Aus dem Orient,* pages 196 et suivantes.

vier a rétrogradé de 15 à 16 kilomètres au sud depuis une centaine d'années[1]; la canne à sucre a disparu de la Provence où elle était acclimatée; les orangers d'Hyères, dont la culture s'étendait à l'époque du XVIe siècle jusqu'au village de Cuers, ont été frappés par la maladie sous un ciel qui ne leur est plus favorable, et l'on a dû les remplacer par des arbres à fruits moins frileux, tels que les pêchers et les amandiers. Ne faut-il voir, avec M. Alphonse de Candolle, dans cette retraite graduelle des vignes, des oliviers, des orangers, qu'un simple fait économique provenant de la plus grande facilité des échanges, ou bien est-il permis d'en inférer que la température annuelle, ou du moins la chaleur estivale, a diminué en France depuis le moyen âge? Il paraît impossible de répondre avec certitude.

On sait aussi que, dans plusieurs parties des Alpes, la tradition parle d'un refroidissement continu des montagnes[2]; d'après tous les botanistes qui ont parcouru les Alpes de la Savoie, de la Suisse et les Carpathes, la lisière de hautes forêts de pins s'est abaissée sensiblement sur les pentes des monts. C'est à 100 mètres de hauteur verticale que M. Kerner évalue le mouvement de retraite opéré par la végétation forestière pendant les deux ou trois derniers siècles : partout on aperçoit, en dehors de la lisière actuelle de la grande végétation, les débris de troncs desséchés, les restes à demi pourris de racines puissantes. Peut-être l'homme et les animaux, vaches et brebis, qui l'accompagnent sur les hauts pâturages, sont-ils les vrais auteurs de cet abaissement graduel de la limite des arbres. Pendant la durée des siècles, la forêt avait peu à peu remonté les escarpements et les pentes, les arbres élevés protégeant de leurs branches les petits contre le froid; mais que la moindre atteinte ait été portée à ce front de bataille, soit par la hache de l'homme, soit par la dent des animaux, le vent, les neiges, les avalanches, ont profité aussitôt de la trouée, et la forêt a recommencé à descendre sur le flanc

1. Bourlot, *Variations de latitude et de climat*, p. 46.
2. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Neiges et les Glaciers*.

des monts. Quelques botanistes attribuent aussi ce recul des forêts de pins, non à la diminution de la chaleur annuelle, mais à la plus grande inégalité des températures, aux alternatives plus soudaines du froid et du chaud, aux gelées et aux dégels du printemps. Ce qui rend cette hypothèse très-probable, c'est que, dans les plaines de la Hongrie, on a observé de constants empiétements des plantes des steppes dans la direction de l'ouest, et cependant aucun mouvement en sens contraire n'aurait été remarqué pour les espèces occidentales. On en conclut que les climats excessifs avancent graduellement vers l'ouest[1].

D'ailleurs, les observations thermométriques ont prouvé que, depuis un siècle, le froid s'est légèrement accru en divers endroits de l'Allemagne, à Regensburg (Ratisbonne), Prague, Hambourg, Arnstadt; le mois de décembre surtout y est devenu relativement beaucoup plus froid, tandis que le mois de janvier s'est notablement réchauffé[1]. En revanche, Glaisher a établi que la température moyenne de l'Angleterre s'est accrue de 1°,11 de l'échelle centigrade pendant les cent dernières années, et, pour le seul mois de janvier, l'augmentation de température n'est pas moindre de 1°,66. Dans cette contrée, les extrêmes se sont rapprochés, le climat est devenu plus doux et plus égal.

Un autre changement semble également prouvé : l'Irlande et le Groenland oriental seraient devenus beaucoup plus froids depuis le XIVe siècle, car dans la première contrée les grands arbres ont cessé de croître et, sur les rivages opposés du Groenland, nombre de vallons, jadis habités, sont devenus complétement inaccessibles par suite de l'envahissement des glaces. On ne saurait douter que les climats ne se modifient incessamment d'une manière plus ou moins sensible sur tous les points de la surface terrestre, puisque les phénomènes physiques desquels dépend en partie l'inégale répartition des températures ne cessent de changer eux-mêmes. Les mon-

1. Hann, *Zeitschrift für Meteorologie von Carl Jelinek*, t. I, 1867.
2. *Zeitschrift für Meteorologie von Jelinek*, n° 18, 1867.

tagnes, dont la masse arrête les vents, contribue à la formation des nues et sollicite les neiges et les pluies, s'abaissent peu à peu et leurs matériaux servent à combler les lacs et à jeter de longues péninsules dans la mer; les fleuves changent de cours, et le volume de leurs eaux s'accroît ou diminue; des marécages se dessèchent, tandis que d'autres se forment au milieu des plaines; les continents s'affaissent ou se soulèvent; ici des archipels se montrent au-dessus de l'Océan, ailleurs des îles s'engouffrent; les courants maritimes, les vents de l'atmosphère sont dans un perpétuel changement. Ainsi que le témoignent les restes fossiles des faunes et des flores d'autrefois[1], de fortes oscillations de climat ont eu lieu dans chaque période de l'histoire de la terre, et des cycles de chaleur et de froid, analogues à nos saisons annuelles d'hiver et d'été, se sont succédé pendant le cours des âges. Sans qu'il soit nécessaire d'admettre un changement d'axe et la variation des latitudes terrestres, on peut affirmer que l'époque actuelle, comme les époques antérieures, offre aussi, dans ses climats, toute une série de changements successifs, et déjà l'histoire nous prouve que, dans ces modifications si importantes du régime de notre globe, les travaux de l'humanité entrent pour une très-large part[2].

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Premiers Ages*.
2. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *le Travail de l'Homme*.

TROISIÈME PARTIE

LA VIE

CHAPITRE I

LA TERRE ET SA FLORE.

I.

La multitude des êtres vivants. — Nombre des espèces végétales. — Proportion des dicotylédonées, des monocotylédonées et des cryptogames. — Les forêts et les savanes.

Par la seule harmonie de ses formes, par la disposition rhythmique de tous ses traits extérieurs, la pureté de l'air qui l'entoure et la lumière qui la colore, la surface de la planète est, dans son ensemble, d'une beauté grandiose; mais ce qui fait surtout la grâce et le charme de la terre, ce sont les myriades infinies d'organismes qui la peuplent. Ce sont eux qui ajoutent une si merveilleuse variété d'aspect, une si grande animation à la majesté sévère que présente la face nue des rochers, telle qu'on la voit encore çà et là dans les régions désertes dépourvues de végétation. La lumière, la chaleur, l'électricité et le magnétisme qui donnent lieu à tant de phénomènes changeants dans le monde organique de l'astmosphère, de la terre et des eaux, développent des tourbillons d'activité dans ce monde de la vie végétale et de la vie animale que la force créatrice des éléments engendre par une mystérieuse transformation. Des centaines de milliers d'espèces

diverses, ayant chacune un nombre incalculable de représentants, qui sont eux-mêmes composés de molécules innombrables toujours en voyage de l'être vivant à la terre et de la terre à l'être vivant, germent, grandissent et meurent pour faire place, à leur tour, à d'autres générations d'organismes sans nombre. Ainsi les multitudes succèdent aux multitudes dans l'immense série des âges. Les couches extérieures de la terre sont renouvelées par toute cette matière qui a vécu. Les assises de houille, les masses crétacées, les strates nombreuses de calcaire offrant en maints endroits plusieurs kilomètres d'épaisseur et recouvrant une si large étendue de l'ossature continentale, ne sont autre chose que les débris des populations de plantes et d'animaux qui habitaient autrefois les terres et l'Océan. De nos jours aussi se forment incessamment de nouvelles couches composées en entier des restes de corps organisés, et la surface presque tout entière des continents s'est revêtue d'humus, de sol végétal, sorte de « membrane proligère, » constituée par la désorganisation de la vie et produisant la vie à son tour.

Ce sont principalement les plantes qui travaillent à la formation de cette terre nourricière, et qui préparent ainsi, des siècles à l'avance, la pâture des générations à venir, sans laquelle les animaux supérieurs n'auraient pu naître et se développer sur la planète. Aux origines de la vie, les êtres, formes indécises désignées par Carus sous le nom de proto-organismes, semblent tenir à la fois de la bête et de la plante; mais, en progressant, ils précisent bientôt leur structure et leur genre de vie, pour entrer, les uns dans la série animale, les autres dans la série végétale, et c'est à cette dernière surtout qu'il revient de peupler et d'embellir la terre, grâce à la fécondité de ses espèces, à la richesse de ses formes et de ses couleurs, aux puissantes dimensions de ses arbres, dont quelques-uns, comme le *sequoia* et l'*eucalyptus*, se dressent à plus de 100 mètres de hauteur dans la région des nuages. Comment la planète produit-elle donc les innombrables corps vivants de sa surface, depuis le limon verdâtre qui germe sur les mares, jusqu'à l'homme qui se dresse dans sa force et tra-

vaille librement à sa destinée? C'est le grand problème auquel s'acharnent les savants et qui n'est peut-être pas insoluble. Déjà, dans les cornues du chimiste Berthelot, a été observé ce phénomène immense, la transformation de gaz inorganiques en substances semblables à celles qui se forment dans les corps organisés.

Les botanistes n'ont pas encore eu le temps de compter le nombre prodigieux des végétaux qui nous entourent, depuis le grand chêne au feuillage étalé, dont le tronc lui-même est une forêt de parasites, jusqu'à l'humble lichen répandu sur le sol comme une traînée de sang. D'ailleurs, si l'on n'a point encore évalué la multitude des espèces végétales, il faut dire aussi qu'on ne s'entend même pas sur la définition de l'espèce : les uns voyant de simples variétés là où d'autres trouvent des caractères absolument distincts. Il y a un siècle, Linné ne connaissait que 6,000 espèces; puis les catalogues se sont graduellement accrus, à mesure que les diverses régions de la terre étaient plus complétement explorées, et maintenant c'est à 120,000 environ que se trouve porté le total des plantes contenues dans les herbiers [1] : l'augmentation a donc été en moyenne d'environ un millier par an. Quant aux espèces, bien plus nombreuses, que les botanistes n'ont encore ni classées, ni même découvertes, c'est par un calcul de proportion qu'ils doivent essayer d'en établir le chiffre probable. C'est ainsi que M. Alphonse de Candolle a pu fixer d'une manière générale le nombre de 400,000 à 500,000 espèces, dont 250,000 phanérogames, pour l'ensemble de la flore terrestre. A peine le quart de nos richesses aurait donc été reconnu jusqu'à nos jours dans l'immense inventaire des productions végétales du globe! Aussi ne se passe-t-il point d'année sans que d'importantes trouvailles soient faites par les voyageurs dans les diverses parties du monde; même les pays d'Europe les mieux connus, que les botanistes ne cessent de parcourir depuis un siècle, offrent tous les ans de nouvelles espèces à d'heureux chercheurs de plantes.

1. Charles Martins, *Du Spitzberg au Sahara*, p. 17.

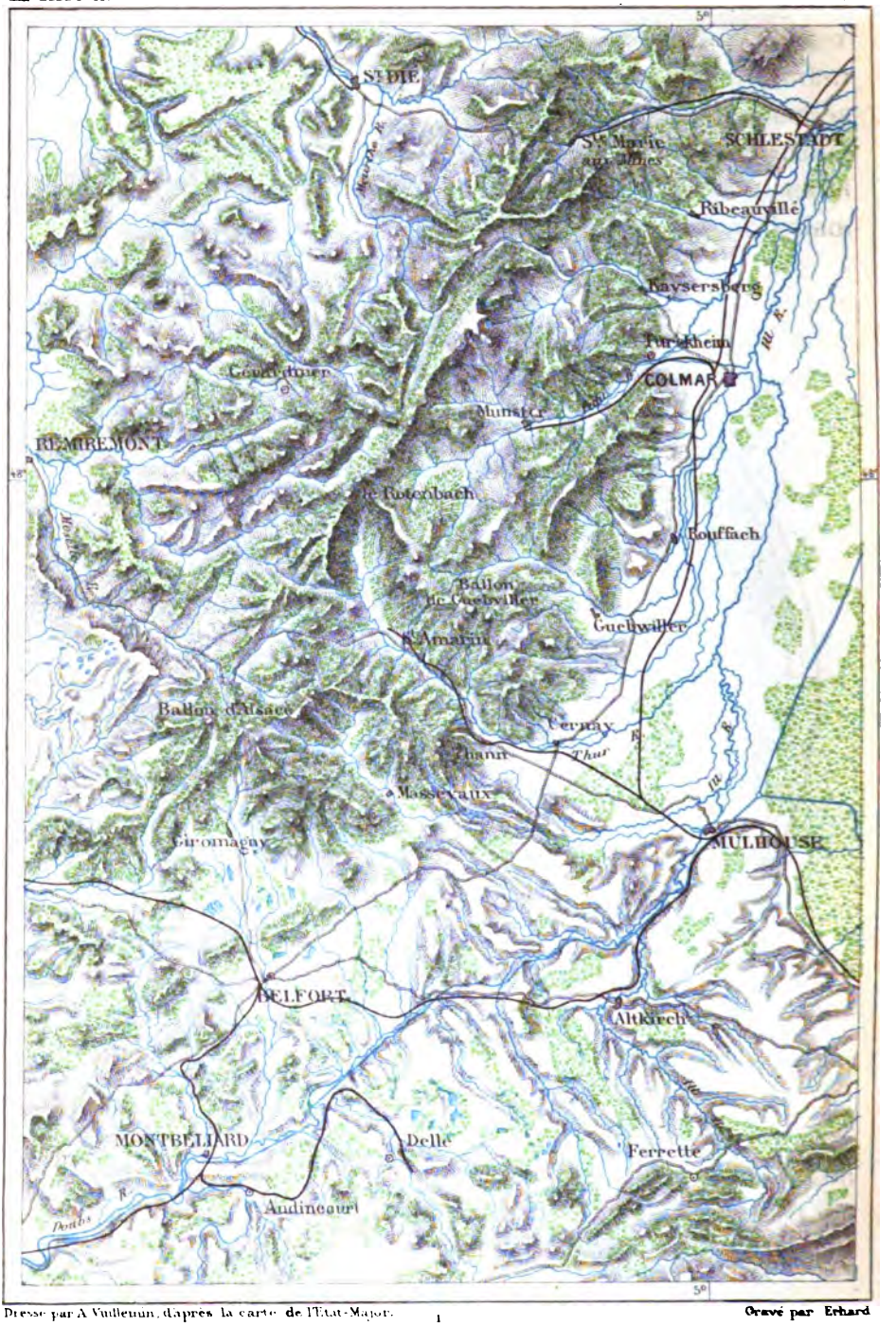
Sur le nombre déjà si considérable des espèces classées, la plus grande partie, soit environ les deux tiers, se compose de phanérogames dicotylédonées, c'est-à-dire de plantes à fleurs apparentes et germant du sol avec deux feuilles primordiales au moins : ce sont les espèces les plus élevées de la série végétale. Du tiers qui reste dans l'ensemble de la végétation terrestre, une moitié environ consiste en monocotylédonées, c'est-à-dire en plantes qui ont aussi des fleurs apparentes, mais qui naissent avec une seule feuille primordiale : tels sont les palmiers, les graminées, les joncs et les carex. Enfin, le dernier sixième comprend les acotylédonées ou cryptogames, c'est-à-dire les plantes à fleurs cachées ou nulles : fougères, champignons, mousses, algues et autres familles de plantes qui germent sans feuille primordiale et qui, par suite de leur organisation rudimentaire, occupent la dernière place parmi les êtres vivants. D'ailleurs, les proportions entre les trois grandes classes d'espèces végétales varient dans les divers pays du monde. La grande loi générale, déjà reconnue par Humboldt et pleinement mise en lumière par M. Alphonse de Candolle, est que la proportion des dicotylédonées s'accroît graduellement des pôles vers l'équateur, tandis que les monocotylédonées et les cryptogames deviennent relativement plus nombreux en se rapprochant des pôles. Ainsi la chaleur du climat est favorable aux dicotylédonées ; mais l'humidité froide leur est contraire, et dans tous les pays où les pluies sont très-abondantes, le nombre proportionnel des monocotylédonées se trouve accru [1].

Une question plus importante encore pour l'homme est celle de savoir quelle étendue relative occupent, à la surface de la terre, les espaces absolument stériles, les régions herbeuses et les forêts de grands arbres. Les districts tout à fait dépourvus de plantes sont fort peu nombreux : les déserts et jusqu'aux dunes mobiles ont leurs flores spéciales, et même les parois abruptes des rochers sont revêtues en maints endroits d'une écorce de lichens. Ainsi, pendant la saison des

1. Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, 2e vol., p. 476 et suiv.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

FORÊTS DES VOSGES



Dressé par A. Vuilleumin, d'après la carte de l'Etat-Major.

Gravé par Erhard

$\frac{1}{580\,000}$

Kilomètres

1/5 1/10 1/15

pluies, les Roches noires de Pungo Andongo, dans la terre d'Angola, paraissent recouvertes d'une immense draperie de velours, qui n'est autre chose qu'un réseau d'algues en nombre infini; quand viennent les chaleurs, ces draperies se dessèchent, s'écaillent et laissent reparaître les nuances grises et jaunâtres du rocher[1]. On peut donc considérer pratiquement la terre comme revêtue de plantes dans toute son étendue; mais il importerait surtout de connaître la partie de la surface

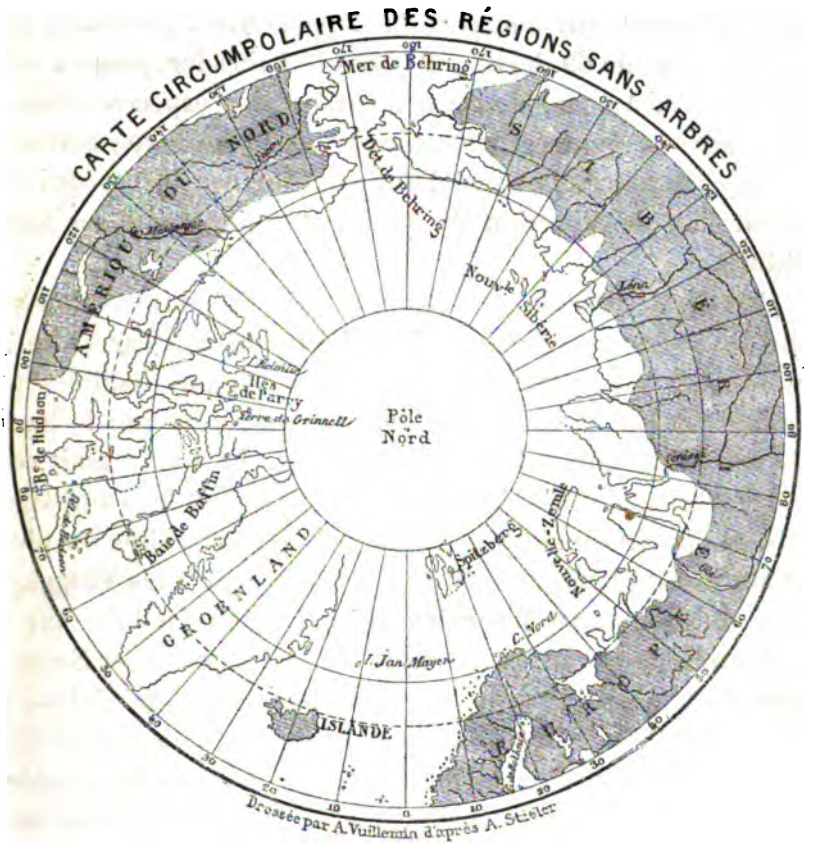


Fig. 164.

ombragée d'arbres. C'est là une évaluation qui n'a point encore été faite, quoiqu'elle présente le plus haut intérêt pour la connaissance de la variation des climats et l'histoire de l'huma-

1. Friedrich Welwitsch, *Ausland*, n° 16, 1868.

nité; si l'on donne à l'ensemble des forêts une surface égale à celle du quart ou du cinquième des terres, il ne s'agit là que d'une simple approximation très-hasardée. Les botanistes se sont bornés à tracer au nord des continents la limite que les froids polaires opposent à la végétation des arbres. Cette limite se trouve en Scandinavie entre le 70e et le 71e degré de latitude, que ne dépassent point les bouleaux; en Sibérie, les mélèzes, qui sont les arbres les plus hardis de la contrée, s'avancent jusqu'au 68e degré; dans l'Amérique du Nord, les sapins croissent, sur les rives du Copper-Mine, jusqu'aux latitudes de 68 et de 69 degrés, et, dans le Labrador, jusqu'à celle de 58 degrés. Au sud de cette frontière des espèces arborescentes, aucune contrée n'est absolument dépourvue d'arbres, et même les extrémités méridionales des continents qui s'avancent dans la direction du pôle antarctique ont des forêts étendues.

Certaines surfaces boisées des pays inhabités n'ont pas moins de plusieurs centaines de mille kilomètres carrés en un seul tenant. Jadis aussi, la plupart des régions habitées par l'homme civilisé portaient de très-vastes forêts que la hache et le feu ont depuis fortement éclaircies. La Gaule était couverte d'arbres, de l'Océan à la Méditerranée, et les campagnes cultivées étaient de simples clairières, comme celles du pionnier américain dans les solitudes du Michigan : les Vosges, la chaîne de montagnes française qui est encore boisée sur la plus grande partie de son étendue, étaient une « forêt Noire, » comme le système de montagnes correspondant, qui s'élève de l'autre côté de la vallée du Rhin. En Germanie, la grande forêt Hercynienne avait, d'après le témoignage des auteurs romains, une longueur de soixante jours de marche; mais il n'en reste maintenant que des fragments épars sur les flancs des montagnes. La Scandinavie, la Transylvanie, la Pologne, la Russie, offrent encore de très-vastes étendues boisées, évaluées, dans quelques districts, aux neuf dixièmes de la surface; les villes, les villages n'y occupent que de simples clairières. Mais là aussi l'œuvre de défrichement s'accomplit avec une grande rapidité.

L'histoire et l'examen des lieux nous apprennent que, par suite de la diversité des influences combinées de la température et de l'humidité, le contraste entre les steppes d'herbes et de bruyères et les grandes forêts était autrefois

FORÊTS DE LA TRANSYLVANIE.

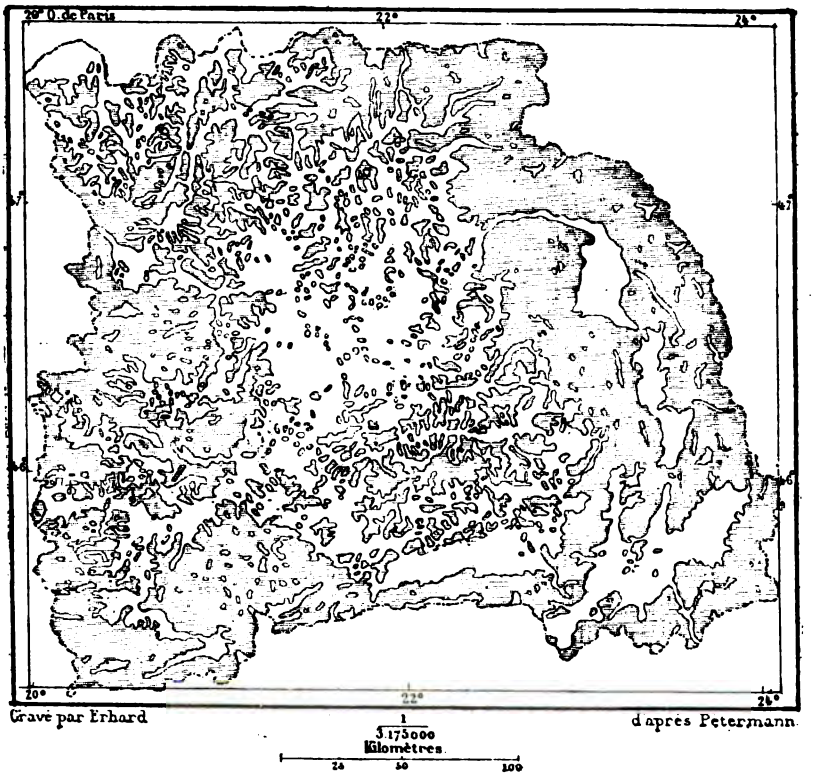


Fig. 165.

aussi complet en Europe qu'il l'est aujourd'hui en Louisiane entre les savanes et les « cyprières », et dans les plaines de l'Amazone entre les *llanos* et les *selvas*. La mer infinie des herbes succédait sans transition à l'immensité des arbres; la surface fleurie du « Tchornosjom[1] » s'étendait sur une moitié de la Russie, tandis que l'autre moitié n'était qu'une forêt sans bornes, coupée seulement de lacs et de rivières. Actuellement

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Plaines*.

le travail de l'agriculteur consiste surtout à mêler les espèces végétales, à faire alterner, trop souvent d'une manière disgracieuse, les bois, les champs et les prairies[1].

II.

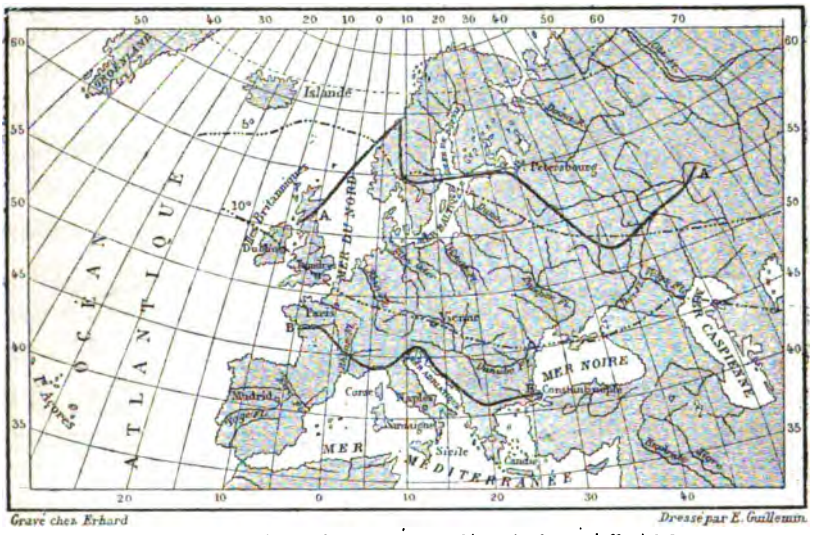
Influence de la température, de l'humidité, des rayons lumineux et chimiques sur la végétation. — Aires des plantes.

Chaque plante a sur la terre son domaine spécial déterminé non-seulement par la nature du sol, mais aussi par les diverses conditions du climat, température, lumière, humidité, direction et force des vents, marche des courants océaniques. Pendant le cours des âges, l'étendue de ce domaine ne cesse de changer, suivant les modifications qui se produisent dans le monde de l'air, et les limites de la région habitée par les diverses espèces s'enchevêtrent les unes dans les autres de la manière la plus complexe. La flore rend le climat visible; mais quel est ce climat lui-même dans le mélange confus en apparence des phénomènes qui le composent? L'influence prépondérante est naturellement celle de la température; cependant il faudrait se garder de croire, comme la plupart des botanistes le faisaient encore récemment, que les frontières de la zone de végétation de chaque plante sont marquées sur les continents par les sinuosités des isothermes. En effet, ainsi que le font remarquer Charles Martins[2] et Alphonse de Candolle[3], toute plante a besoin, pour naître et se développer, d'une certaine somme de température différant suivant les espèces. Chez les unes, la vie commence ou reprend son cours après le sommeil de l'hiver, lorsque le thermomètre marque 2 ou 3 degrés au-

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *le Travail de l'Homme*.
2. *Voyage en Scandinavie*, p. 89.
3. *Géographie botanique raisonnée*, p. 36.

dessus du point de glace; les autres ont besoin d'une chaleur de 10, de 12 ou même de 15 et 20 degrés avant de prendre leur élan pour fournir leur carrière de l'année. Chaque espèce a, pour ainsi dire, son thermomètre particulier, dont le zéro correspond au degré de température où se réveille, pour ses germes, la force de végétation. Il est donc impossible d'indiquer par des lignes isothermiques les limites d'habitation de telle ou telle espèce, puisque chacune d'elles a pour le commencement de sa période vitale un point de départ différent.

Pour connaître la chaleur nécessaire aux plantes, il faudrait, non pas chercher quelle est la résultante moyenne des



AA *Limites polaires de l'Aquilegia vulgaris* ..... *Lignes isothermes à 5° et à 10°*
BB " " *du Campanula erinus* ————

Fig. 166. — Limites de végétation de l'*aquilegia vulgaris* et du *campanula erinus*.

alternatives de froid et de chaud pendant l'année ou pendant les diverses saisons, mais évaluer la somme des heures pendant lesquelles la température s'est maintenue au-dessus du degré qui est pour chaque plante le point initial de son développement. Il est vrai que, dans cette évaluation, on ne tient point compte du nombre relatif des heures de jour et des heures de nuit, qui chacune doivent certainement influencer la végétation d'une manière différente; mais tel quel, ce calcul

est encore le plus vrai qu'il soit possible d'établir, surtout pour les espèces annuelles qui existent seulement en germe pendant l'hiver, et qui n'ont pas, comme les arbres et les plantes vivaces, à défendre leurs troncs et leurs branches contre l'âpreté du froid. Ainsi les climats de Londres et d'Odessa, si peu semblables l'un à l'autre par leurs étés, leurs hivers et leurs extrêmes de température, sont néanmoins les mêmes pour les espèces végétales dont l'évolution commence à 4 ou 5 degrés au-dessus de zéro, et qui ont besoin d'une même somme

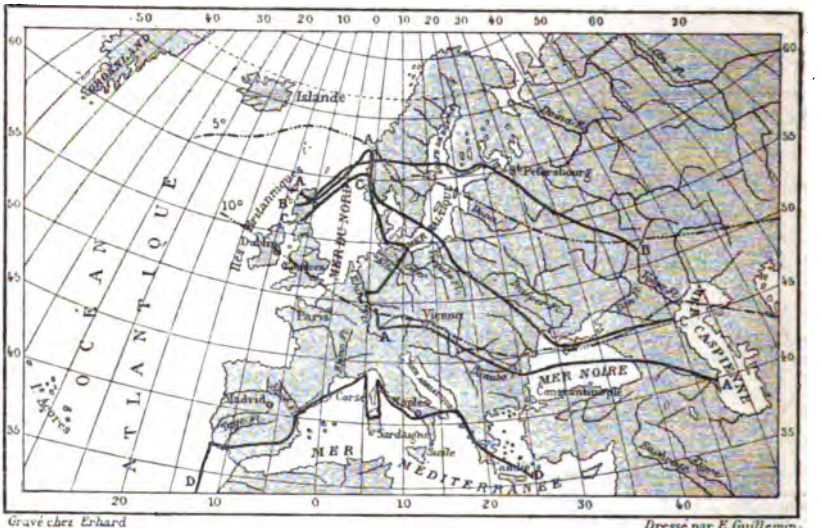


Fig. 167. — Limites polaires du houx, du frêne, du hêtre, du *chamærops humilis*.

totale de chaleur pour arriver à leur maturité. De même les climats si distincts d'Édimbourg et de Moscou, de Stockholm et de Kœnigsberg, de Londres et de Genève, doivent produire les mêmes effets sur les plantes qui, à partir d'un certain degré du thermomètre, exigent la même quantité de chaleur dans un temps plus ou moins long. Il en résulte que les aires d'habitation des espèces ont les contours les plus divers. Tandis que, du côté du pôle boréal, les limites de l'ancolie commune (*aquilegia vulgaris*) et de la campanule *erinus* se rapprochent beaucoup du tracé des lignes isothermes de l'Europe (fig. 166), les

frontières d'autres zones de plantes traversent le continent dans toutes les directions, de sorte qu'il est impossible d'y voir; comme dans les lignes d'égale température, la moindre apparence de parallélisme. On peut citer en exemple les courbes décrites par les limites polaires de certains arbres et arbustes bien connus : le houx, le *chamærops humilis*, le hêtre, le frêne, le jasmin (fig. 167). Parmi les végétaux de l'Europe, il en est même dont les stations indiquent par leurs contours un antagonisme absolu entre les conditions du climat qui leur est

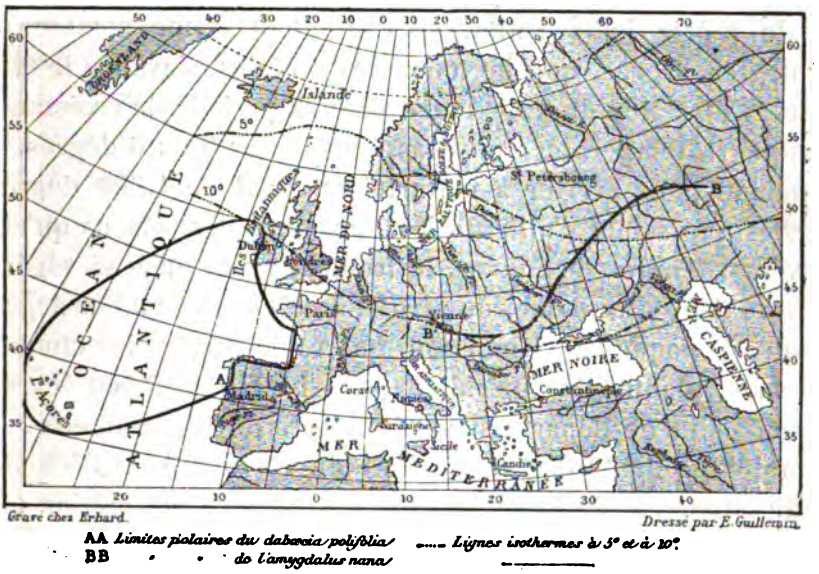


Fig. 168. — Limites polaires du *dabœcia polifolia* et de l'amandier nain.

nécessaire. Ainsi le *dabœcia polifolia*, plante craintive qui redoute les froids hivers et les étés brûlants, ne quitte les Açores, au climat humide et régulier, que pour se hasarder sur les côtes atlantiques du Portugal, de l'Espagne, de la France et de l'Irlande, où les pluies sont abondantes et les froids tempérés. L'amandier nain, au contraire, se propage hardiment des bords du Danube jusqu'au pied des monts Ourals, à travers les steppes russes, où des hivers secs et très-froids succèdent à des chaleurs excessives (fig. 168).

D'après la méthode d'observation des températures indiquée d'abord par Réaumur et reprise depuis par Boussingault,

de Gasparin et surtout par Alphonse de Candolle, on peut s'expliquer désormais les sinuosités qu'offrent les limites des aires végétales. Cette méthode consiste à supputer les « sommes de chaleur » nécessaires au développement complet de chaque plante, c'est-à-dire à compter chaque jour les degrés de chaleur moyenne qui dépassent la température à laquelle le végétal a commencé sa carrière de l'année, et à calculer le total de toutes ces chaleurs quotidiennes. Certaines plantes de la zone glaciale, qui, dans l'espace de quelques journées de l'été polaire, ont le temps de germer, d'ouvrir leurs feuilles et de mûrir leurs fruits, se contentent d'une somme de 50 degrés. L'orge, qui, de toutes les céréales, s'avance le plus dans la direction du pôle, entre dans sa période de croissance lorsque la température a dépassé au moins 5 ou 6 degrés, et demande pour arriver à maturité un total de 1,000 degrés, quelles que soient d'ailleurs les moyennes des saisons qu'elle traverse. D'après de Seynes, le froment commence sa végétation à 7 degrés au-dessus de zéro et reçoit environ 2,000 degrés jusqu'à l'époque de la moisson, qui varie suivant les climats. Le maïs, plante plus méridionale, a besoin de 2,500 degrés, et son point de départ est au 13e degré du thermomètre. La vigne exige 2,900 degrés à partir du 10e degré de l'échelle. Enfin Alphonse de Candolle pense qu'il faut au dattier une chaleur totale d'environ 5,100 degrés avant qu'il puisse mûrir ses fruits[1]. La plupart des plantes de la zone tempérée peuvent supporter des froids de 10, de 15 ou même de 20 degrés, sans que la force vitale soit supprimée chez elles; mais aucune ne peut germer ou croître à une température inférieure au point de glace. Dans les montagnes, les saxifrages et les soldanelles fleurissent jusque sous la neige, mais l'eau qui arrose leurs racines et l'air qui entoure leurs tiges et leurs feuilles ont déjà une température supérieure à zéro. Il ressort des recherches d'Alphonse de Candolle que la croissance des espèces végétales commence en moyenne à 5 degrés centigrades dans les régions de l'Europe occidentale. Toutefois il

1. *Géographie botanique raisonnée*, p. 396.

ne faudrait pas voir dans le point de départ de la croissance de chaque plante une limite absolument fixe comme le degré de température auquel les métaux entrent en fusion; il est probable que, suivant leur vigueur et les conditions diverses du milieu, certains individus se hâtent et d'autres sont lents à se réveiller. En outre, sous les climats toujours printaniers, comme celui de Madère, les espèces ne recommencent leur évolution annuelle qu'après s'être reposées pendant une certaine période pour avoir le temps de reformer leurs tissus : ainsi les vignes de Madère n'entrent en végétation que vers la fin de mars, époque à laquelle la température est déjà de 18 degrés centigrades; pendant tout l'hiver, la chaleur moyenne, qui ne descend pas au-dessous de 17°,5, aurait été suffisante et au delà pour développer la vigne et en faire mûrir les fruits. De même sur les plateaux des contrées tropicales, où l'on jouit d'un printemps éternel, les plantes se reposent pendant la période hivernale; elles gardent leur parure de feuilles, mais elles n'en produisent pas de nouvelles; elles développent leurs fleurs et leurs fruits, mais seulement ceux dont les boutons avaient déjà germé pendant l'été[1].

La sécheresse ou l'humidité relative des diverses contrées sont aussi parmi les causes principales de la délimitation des espèces : un air trop pluvieux noie la plante, pour ainsi dire; le manque de vapeurs aériennes la brûle. D'après Robert Brown, les forêts manquent dans toutes les régions de l'Amérique du Nord, où les arbres n'ont pas au moins de 30 à 40 centimètres d'eau de pluie pendant les saisons de croissance[2]. Nombre de végétaux ne pénètrent point dans les steppes desséchés de la Russie, où d'ailleurs la température leur serait favorable; d'autres ne peuvent s'acclimater à l'ouest de la Grande-Bretagne, où la quantité annuelle de pluie est relativement énorme. Les espèces qui se développent dans ces pays humides sont d'une admirable fraîcheur : à l'aspect des arbres et des prairies, on voit qu'ils sont incessamment abreu-

1. Karsten.
2. *Mittheilungen von Petermann*, t. VIII, 1869.

vés par l'eau du ciel. Dans les contrées tropicales, où la chaleur annuelle est toujours suffisante pour faire arriver à maturation les espèces végétales, c'est l'influence de l'humidité qui devient prépondérante. Les limites de la zone des pluies y sont aussi les limites des zones de végétation.

La lumière, aussi bien que la chaleur, est un élément des plus importants dans la vie des espèces végétales. Alphonse de Candolle a constaté par des expériences directes que, sur deux plantes semées le même jour, celle qui est exposée aux rayons solaires se contente d'une moindre somme de chaleur pour se développer et mûrir. C'est aussi à la plus grande intensité de la lumière que nombre d'espèces des montagnes doivent la rapidité de leur croissance et de leur éclat, la grandeur relative de leurs fleurs. Sur tous les sommets du midi de l'Europe, les plantes alpines se contentent, pour se développer et mûrir, d'une quantité de chaleur beaucoup moindre que les espèces congénères des plaines situées à une grande distance au nord [1].

Un autre fait, bien moins étudié, mais peut-être non moins considérable que celui de la chaleur, contribue à l'inégale répartition des plantes : c'est le pouvoir chimique des rayons. Il serait tout naturel de penser que ce pouvoir s'accroît de la zone tempérée à la zone tropicale, proportionnellement à la force du soleil ; cependant, sur la foi de plusieurs photographes, qui n'avaient pu obtenir aussi facilement leurs épreuves sous le soleil éblouissant de l'Amérique du Sud que sous les brumes de l'Angleterre, on doutait encore récemment que le pouvoir chimique des rayons solaires augmentât dans la direction de l'équateur. Enfin M. Thorpe a écarté ces doutes par des observations faites à Parà, sur un des bras du fleuve des Amazones. Les moyennes d'intensité chimique sont de 7 à 34 fois plus fortes à Parà qu'à l'observatoire de Kew, près de Londres ; mais, tandis qu'en Angleterre cette intensité s'accroît et diminue lentement chaque jour sans brusques transitions, elle change, sous les tropiques, de la manière la plus soudaine pendant la saison des pluies. Lorsque les averses, accompa-

1. A. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, pages 310 et suivantes.

gnées de décharges électriques, s'abattent tout à coup du ciel, l'intensité chimique cesse complétement, puis elle agit de nouveau avec une grande force, dès que l'orage s'est dissipé[1].

Sous les climats tempérés, les brusques variations de la lumière chimique sont moins nombreuses que dans les contrées tropicales; mais elles n'en sont pas moins beaucoup plus fortes que les variations de la chaleur. En effet, du mois de décembre au mois de juin, on a constaté, en Angleterre et en Allemagne, des écarts de 1 à 20 dans l'activité des rayons lumineux. C'est que l'influence de ces rayons ne dépend pas seulement de la position du soleil dans les cieux, elle s'accroît ou diminue suivant les innombrables changements qui s'opèrent dans l'océan atmosphérique. Ainsi, les nuages blanchâtres qui voilent le ciel comme de légères draperies donnent une plus grande force chimique à la lumière, et les effets s'en font immédiatement sentir sur la nature; mais que les nuages s'épaississent et s'interposent en masses noires entre le soleil et la terre, alors l'action des rayons lumineux décroît aussitôt, un brusque reflux succède à la marée de force vitale qui s'épanchait du ciel[2].

Aux perturbations que produisent dans le climat chimique d'un pays les altérations incessantes des nuages, des brumes et des vapeurs invisibles, s'ajoutent les changements produits par les myriades de grains de poussière et de germes flottants et par toutes les émanations, acide carbonique, gaz hydrogénés, ammoniaque, qui s'échappent de la terre et troublent la pureté des airs. Il est bien difficile, dans l'état actuel de la science, d'indiquer approximativement, même pour les contrées les mieux connues de l'Europe occidentale, la valeur relative de l'action chimique exercée en moyenne pendant l'année par les rayons solaires; il serait bien plus difficile encore de tracer sur la rondeur du globe des lignes isochimiques, analogues aux lignes isothermes : c'est là une conquête de la science réservée aux observateurs futurs. Toutefois les

1. Roscoe, *Lecture at the Royal Institution.*

2. Rod. Radau, *Revue des Deux Mondes,* 1er novembre 1866.

recherches de MM. Bunsen, Roscoe et d'autres savants ont déjà prouvé que *l'actinité* des rayons solaires subit des modifications plus fortes que la chaleur; les lignes d'égal climat chimique doivent, par conséquent, dépasser de beaucoup en courbes et en brusques sinuosités les lignes d'égale température. Il y a des vents chimiques, comme des vents humides et des vents chauds, ou plutôt ceux-ci modifient sans cesse, dans les flots toujours agités de l'atmosphère, ces nappes changeantes de vapeurs qui, tantôt modèrent, tantôt augmentent la force des rayons du soleil.

La différence extraordinaire des flores entre deux pays voisins dont la température est sensiblement la même, doit en un grand nombre de cas s'expliquer surtout par l'énorme influence qu'exerce l'état du ciel. Ainsi, les arbres à fleurs ne croissent pas dans les Feröer, et l'on y voit seulement des broussailles et de maigres arbustes, bien que la température soit d'un seul degré inférieure à celle de Carlisle, en Angleterre, où la végétation forestière offre encore de si belles proportions. En effet, si la chaleur est la même, la lumière est bien différente. Les rayons du soleil qui passent à travers les brumes de l'Angleterre sont en très-grande partie absorbés par ces intenses brouillards des Feröer, que le vieux Pytheas croyait être une sorte de « poumon marin », où l'air, l'eau et la boue se mélangeaient confusément. Peut-être aussi est-ce à une plus grande force chimique et lumineuse, développée pendant de plus longs jours, qu'il faut attribuer la singulière rapidité avec laquelle les végétaux du nord se dénouent de leur sommeil d'hiver lors de la soudaine invasion du printemps. En quelques jours, tous les arbres sont couverts de bourgeons et de feuilles, tandis que des mois s'écoulent, sous les latitudes plus méridionales, entre le réveil des espèces différentes. Non-seulement les plantes indigènes du nord, mais également celles qui ont été acclimatées dans ces régions, ouvrent leurs boutons beaucoup plus tôt qu'on ne pourrait s'y attendre d'après les mœurs des végétaux dans les contrées du sud. A Pétersbourg, sous le 60e degré de latitude septentrionale, on a constaté que le bourgeonnement des bou-

leaux, première crise de la vie printanière, précède celui du tilleul de 5 jours et la floraison de l'alchémille commune de 18 jours seulement, tandis qu'à Breslau, situé à 8 degrés plus au sud, les intervalles sont respectivement de 15 et de 51 jours[1]. « Plus on avance vers le nord, dit Alphonse de Candolle, et plus la lumière remplace utilement la chaleur. »

On le voit, les questions relatives à l'aire naturelle des espèces végétales sont des plus complexes, et ce n'est pas sans de très-longues et très-patientes études comparées que les botanistes pourront déterminer d'une manière précise quel est le milieu normal de chaque plante et quelles sont les causes multiples qui en arrêtent l'extension au delà d'une certaine limite, différente pour chaque espèce. Non-seulement il faut tenir compte des alternatives et des sommes de la température, de la lumière, de la puissance chimique des rayons, mais encore il est nécessaire d'évaluer l'action exercée par tous les météores, d'apprécier l'influence de la sécheresse et de l'humidité, des longues pluies et des averses passagères, des expositions et des altitudes diverses, des inégalités du sol. Outre toutes ces conditions du milieu, il faut savoir aussi quelle est la vitalité propre de la plante elle-même, quel est son effort d'expansion sur la terre, quelle est sa force de résistance aux agents de destruction qui l'entourent. Il importe également de connaître l'ancienne distribution des continents et des mers dans la série géologique des âges, afin d'apprendre quels obstacles, tels que bras de mer ou chaînes de montagnes, peuvent avoir arrêté la dissémination de certains végétaux sur des espaces plus étendus. Chaque plante a son histoire, ses traditions, sa patrie, ses mœurs, et c'est à l'extrême diversité des conditions d'existence qu'est due la merveilleuse variété qu'offre le groupement des espèces à la surface de la planète.

1. Anton von Etzel, *die Ostsee*, p. 239.

III.

Stations particulières des espèces. — Plantes aquatiques d'eau de mer et d'eau douce. — Espèces des plages. — Parasites. — Espèces terrestres. — Influence des terrains sur la végétation. — Plantes associées. — Mer de varech. — Étendue des aires.

La plupart des plantes n'occupent qu'une faible partie de l'espace circonscrit par les limites générales que le climat trace à leur habitation. C'est qu'il leur faut, en outre, suivant leur nature, certaines conditions physiques particulières, sans lesquelles la germination et la croissance sont impossibles. Ainsi, pour citer l'exemple le plus frappant, la végétation aquatique se compose d'espèces tout à fait différentes de celles qui poussent sur les terres émergées. Si ce n'est dans la zone indécise, alternativement couverte et découverte par les eaux, et où se développent des plantes dites amphibies, les deux flores sont absolument distinctes. S'il était vrai, ainsi que le pensent certains botanistes, que des espèces d'algues marines donnent naissance à des plantes terrestres de la tribu des champignons, la puissance germinative n'exercerait dans ce cas son action que pour transformer d'une manière complète la structure et l'apparence du végétal.

Le contraste des flores est à peine moins absolu entre l'eau douce et l'eau salée qu'entre les mers et les continents. L'Océan a ses plantes spéciales, les unes nageant librement sur les flots, comme le sargasse ou « raisin des tropiques », les autres se cramponnant aux rochers du bord et des écueils. Les rivières, les lacs, les étangs d'eau douce ont aussi leurs espèces végétales particulières, potamogétons balançant mollement leur longue chevelure au gré du courant, nénuphars étalant leurs larges feuilles d'un vert d'émeraude sur l'eau transparente, conferves innombrables formant une couche de végétation continue sur la nappe de l'étang, semblable, de

loin, à la surface d'une prairie. Les plantes qui fructifient à la fois dans les eaux pures et les eaux salées sont peu nombreuses, et, d'ordinaire, on les rencontre seulement dans les estuaires des fleuves que parcourent les marées et où s'opère graduellement le mélange entre les masses liquides. Quant aux tourbières, elles sont composées en entier de plantes associées qui se pressent les unes contre les autres et contiennent de l'eau dans leurs interstices comme dans une immense éponge[1]. La végétation des plages elles-mêmes présente un contraste des plus frappants suivant qu'elle entoure des eaux pures ou des mers saturées de substances salines. Ainsi, les relais de l'Océan, dont le sable ou l'argile sont fortement mélangés de sel marin, produisent en abondance des salsolées, des salicornes, des statices et d'autres plantes, en général d'une apparence assez triste, qui donnent aux rivages une physionomie toute particulière. Dans l'intérieur des continents, on ne retrouve de flore semblable que sur le pourtour des lacs salins et dans les terres où viennent jaillir à la surface des sources chargées de sel : c'est même la vue de ces plantes qui a poussé les mineurs à percer le sol, afin d'y découvrir les bancs de sel gemme cachés dans les profondeurs du sol. D'autres espèces végétales semblent avoir besoin, non du sel de la mer, mais des vapeurs qui s'en échappent : telle est l'une des bruyères les plus charmantes, *erica sylvatica*, qui croît dans les plaines basses autour du golfe de Finlande, de la mer Baltique, de la mer du Nord, de la Manche, du golfe de Gascogne, et que l'on retrouve encore sur les côtes de l'Espagne et du Portugal, sans que jamais on l'ait rencontrée à plus de 250 kilomètres du rivage.

Aussi bien que les eaux, l'atmosphère possède sa végétation spéciale. Certaines plantes ne demandent au terrain qu'un simple point d'appui, et tirent de l'air toute la nourriture dont elles ont besoin. Des multitudes d'autres espèces végétales ne croissent jamais sur la terre nue et se fixent sur les racines cachées, les tiges ou les branches d'autres plantes

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Lacs et les Marais*.

qui leur servent de sol nourricier. Lianes de toutes sortes, orchidées, passiflores, bignoniacées, euphorbiacées, apocynées, fougères, mousses et lichens se groupent ainsi en forêts aériennes et, se mêlant au feuillage des arbres qui les portent, les ornent diversement de guirlandes, de bouquets, de touffes de verdure ou de fleurs. Sur ces parasites vivent d'autres parasites, et, dans certaines forêts tropicales, où chaque arbre est un monde de plantes, le fouillis des végétations entremêlées offre une telle confusion de formes, que l'œil du botaniste le plus exercé est seul capable de s'y reconnaître. Enfin l'intérieur même du sol a sa flore particulière, composée de truffes et d'autres cryptogames qui ne veulent recevoir l'influence de l'atmosphère qu'à travers les pores du terrain. Les grottes ont aussi, jusqu'au fond de leurs labyrinthes, des plantes qui fuient la lumière; et dans les forêts, certaines espèces végétales, presque toujours blanches ou pâles, se blottissent à l'ombre, au pied des grands arbres, et redressent à peine leur tige délicate au-dessus du tapis de mousse et de feuilles sèches.

Parmi les végétaux, de beaucoup les plus nombreux, qui enfoncent leurs racines dans le sol et balancent leurs feuilles dans l'air libre, il en est qui préfèrent un sol sablonneux; d'autres se plaisent surtout sur les terrains calcaires; d'autres encore sur les graviers, sur l'argile dure ou dans les fentes du granit. Quelques botanistes ont même essayé de classer les plantes d'après la composition chimique des terrains qu'elles affectionnent. Il est certain que plusieurs espèces, même sans tenir compte de celles qui croissent sur les terres salines, se rencontrent exclusivement sur un sol de leur choix; le châtaignier, la digitale pourprée, le genêt commun, se plaisent dans les terres siliceuses; le *carex arenaria*, les autres plantes ordinaires des dunes et, sous le climat des tropiques, le cannellier demandent le sable presque pur; les calcaires ont aussi leurs espèces qui ne prospèrent point ailleurs. Toutefois ce n'est point, semble-t-il, à cause des substances qu'elles renferment, mais surtout à cause de leurs propriétés physiques, dureté, densité, porosité, que ces divers

terrains nourrissent telles ou telles espèces de plantes. Que la composition de la roche reste la même, mais qu'elle soit en même temps plus désagrégée et laisse pénétrer plus facilement l'air extérieur et l'humidité, aussitôt la végétation change et l'on voit apparaître sur le calcaire ou sur l'argile des espèces qu'on s'attendait à ne trouver que sur le sable. Aussi, quand le botaniste s'éloigne d'une contrée où, par suite de la ressemblance des conditions physiques du sol, les mêmes roches sont toujours revêtues du même tapis végétal, s'aperçoit-il avec étonnement que les espèces deviennent infidèles au terrain qu'il leur croyait être nécessaire. Sur 43 plantes que, dans les Carpathes, Wahlenberg avait observées seulement sur les calcaires, il en retrouva 22 sur les roches cristallines de Suisse et de Laponie. De même, sur 67 espèces qui sont en Suisse de provenance exclusivement calcaire, 36 croissent dans les pays environnants sur des terrains dont la composition chimique est toute différente, et l'on peut croire que des explorations plus complètes auront pour résultat de réduire encore le nombre des plantes absolument fidèles à une seule nature de sol[1]. D'ailleurs, ainsi que l'a prouvé M. Théodore de Saussure, le tissu de plusieurs plantes s'empare indifféremment de la substance la plus abondante et la plus soluble qui se trouve autour des racines; les cendres du sapin de Norvége n'ont pas la même composition que celles du sapin du Jura.

Non-seulement les espèces végétales savent choisir pour s'y propager la terre qui convient à chacune d'elles, elles exercent aussi dans leurs associations avec d'autres plantes une sorte de discernement, soit qu'elles demandent exactement les mêmes conditions physiques dans le sol, soit qu'elles cherchent un abri ou bien qu'elles obéissent à quelque affinité secrète. Sans parler des parasites qui ne vivent point d'une vie indépendante, nombre d'espèces amies sont toujours dans le voisinage les unes des autres, et par l'harmonie de leur groupement donnent quelque chose de doux et d'intime à la

1. Alph. de Candolle, Ch. Martins.

nature. Ainsi l'approche de la forêt s'annonce au voyageur par de petites plantes et des arbustes qui ne croissent point en rase campagne; les couleurs gaies des bluets et des coquelicots se mêlent toujours, du moins dans l'Europe occidentale, aux blonds épis des moissons; des herbes, que les agriculteurs qualifient de « mauvaises », s'associent invariablement aux cultures de nos champs; les plantains, les potentilles croissent ensemble au bord des chemins et pour ainsi dire sous les pas mêmes de l'homme; les chalets des Alpes et des Pyrénées sont entourés d'orties et de rumex qui s'élèvent en touffes au-dessus du gazon court des pâturages. Enfin les steppes herbeux, prairies américaines, savanes ou pampas, ne sont autre chose que des colonies immenses de plantes associées. Par contre, les déserts au sol aride n'offrent souvent, sur d'immenses étendues, que la maigre verdure d'une seule espèce végétale. Ainsi l'argile du plateau d'Utah ne laisse pénétrer dans ses fissures que les racines d'une *artemisia,* et, sur une grande partie de leur surface, les déserts du Nouveau-Mexique et d'Arizona n'ont pour toute végétation que les tristes et bizarres candélabres du cierge gigantesque[1].

L'Océan, comme la terre, a ses étendues monotones de plantes : ce sont les champs de sargasses (*fucus natans*), qui se trouvent au milieu de plusieurs bassins maritimes, et notamment dans l'immense espace triangulaire compris entre les Antilles, le Gulf-stream, le groupe des Açores et l'archipel du Cap-Vert. Colomb traversa ces parages remplis d'herbes marines, et ce ne fut point pour ses compagnons le moindre sujet de terreur que l'aspect de ces longues traînées de plantes qui retardaient la marche du navire et faisaient ressembler la mer insondable à un immense marécage. Enchevêtrées en îles et en îlots flottants qui se suivent en interminables processions, ces herbes changent en certains endroits la surface de l'Océan en une espèce de pré d'un vert jaunâtre ou couleur de rouille; les vagues soulèvent ces nappes en larges ondulations et les entourent de lisérés d'écume; des

1. Voir le chapitre intitulé *les Plaines,* et ci-dessus, p. 399.

poissons se jouent par centaines au-dessous des frondes qui les garantissent du soleil; des myriades de petits animaux, crustacés, serpules et coquillages, courent, rampent ou s'incrustent sur les tiges entrelacées de ces forêts voyageuses et traversent avec elles l'étendue des mers.

On croyait autrefois que ces varechs flottants de l'Atlantique avaient été détachés par la houle des rivages des Antilles et de la Floride, puis emportés par le Gulf-stream à des centaines de lieues des terres; tous ces débris, entraînés dans l'immense circuit des eaux, se seraient à la fin réunis comme au centre d'un remous dans l'espace entouré par les eaux du grand tourbillon circulaire de l'Atlantique septentrional. Cette idée n'était pas exacte. Les fucus de l'Océan naissent et se développent à la surface des eaux[1]. Jamais on n'a pu y découvrir de racines ni le moindre indice de bulbes qui se seraient cramponnées à la terre et que les flots en auraient arrachées. Chaque tige se termine brusquement à son extrémité inférieure par une espèce de cicatrice, et n'est évidemment qu'un rameau détaché d'une autre plante; des vésicules pleines d'air, qui ont valu à ce fucus son nom de raisin des tropiques, lui servent de flotteurs pour le soutenir sur l'eau, tandis que des centaines de membranes foliacées se redressent verticalement au-dessus de chaque flot de varech, afin d'absorber la quantité d'air dont ces organismes ont besoin pour croître et se propager.

Il est vrai que toutes les prairies de fucus tournoient sous l'influence des vents dans le remous formé par le Gulf-stream et le courant équatorial; mais, au lieu d'avoir été apportées par ces fleuves maritimes, elles s'arrêtent au contraire devant eux et s'accumulent en traînées le long de leurs rives intérieures; un petit nombre de plantes seulement pénètrent dans la mer des Antilles et dans le golfe du Mexique par les débouquements des îles. La mer de varech proprement dite de l'Atlantique boréal est comprise entre le 16e et le 38e degré de latitude nord et s'étend de l'est à l'ouest du 50e au 8e degré de

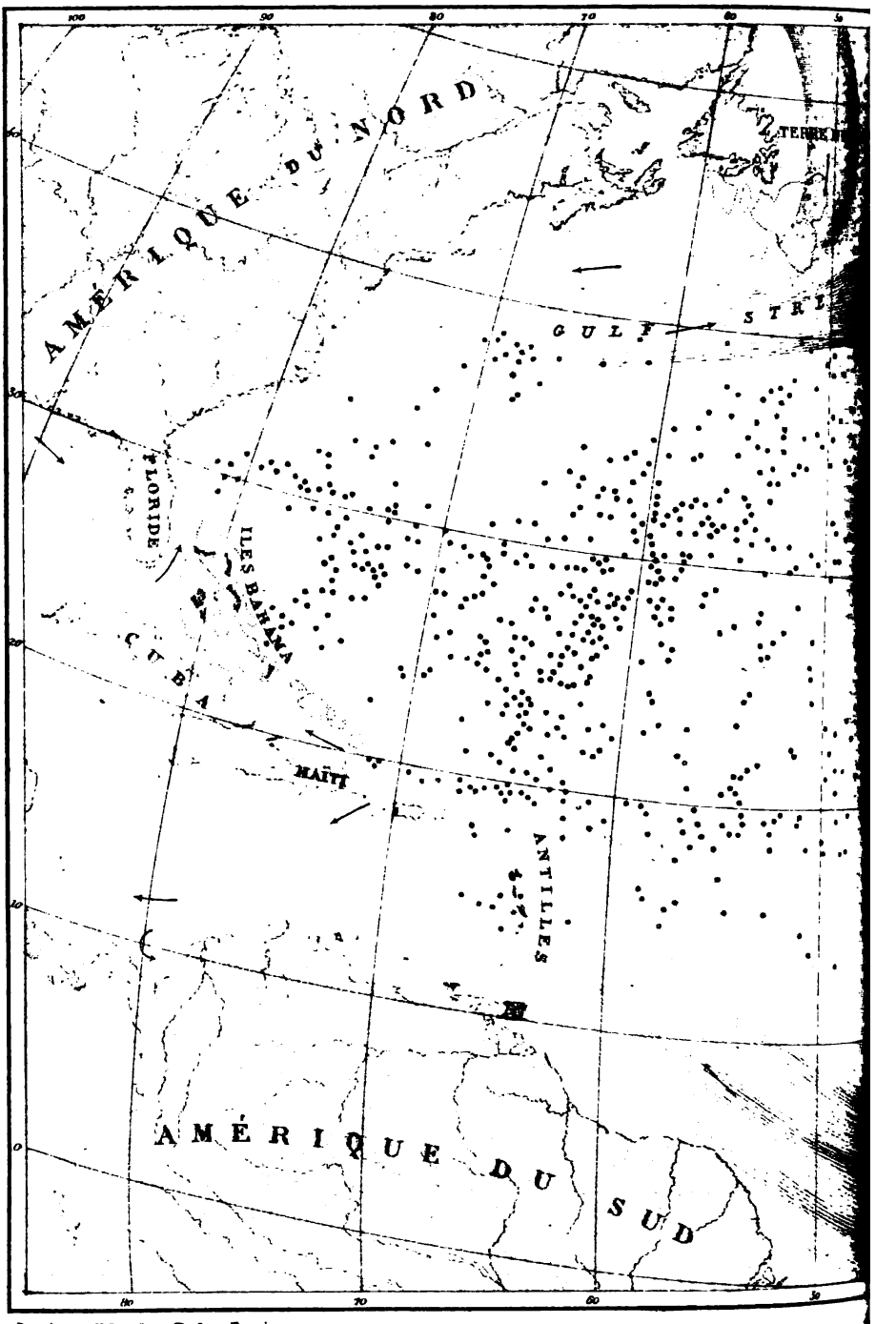
1. Leps; — Blunt, *Journal of the American geographical society*, 1870.

longitude. Dans cet immense espace, les varechs constituent deux amas séparés, comme si une branche du courant équatorial se reployait vers le nord pour refouler à droite et à gauche les prairies de sargasses. On peut hardiment évaluer à plus de 4 millions de kilomètres la superficie de cette nappe d'herbes; dans les autres océans, Pacifique boréal, mer du Sud, Atlantique méridional, les prairies de varech couvrent aussi d'énormes surfaces. Si jamais les agriculteurs d'Europe et d'Amérique mettent à exécution l'idée de M. Leps, qui propose de charger des navires de ces plantes, ils trouveront donc largement à s'approvisionner d'engrais pour l'amélioration de leurs cultures[1].

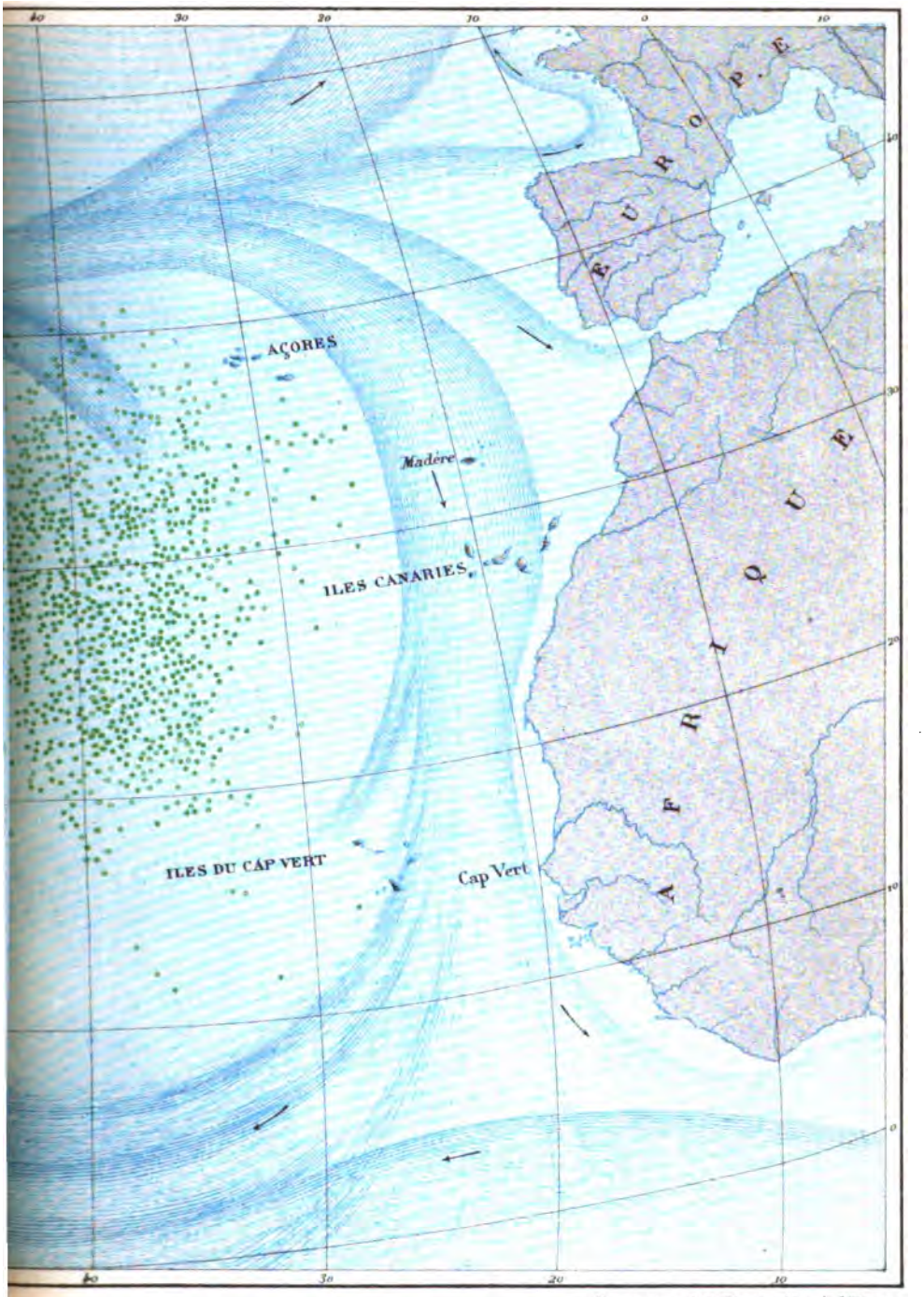
Il ressort des nombreuses études comparatives d'Alphonse de Candolle que la forme générale de l'aire occupée par chaque plante est celle d'une ellipse, un peu allongée de l'est à l'ouest sous les latitudes tempérées, et du nord au sud sous les latitudes tropicales : cette disposition ordinaire est facile à comprendre, car, dans les diverses zones, le grand diamètre de l'ellipse doit indiquer la direction dans laquelle le climat offre le plus d'égalité sur une étendue plus considérable. Chose remarquable, l'aire moyenne des espèces est d'autant plus vaste qu'elles ont une organisation plus simple et qu'elles semblent avoir plus d'ancienneté. Ainsi les cryptogames, qui sont les plantes les moins développées, occupent la surface la plus grande. De même les espèces marines ont une aire moyenne plus étendue que celle des espèces terrestres; les herbes ont une habitation plus vaste que celle des arbres; enfin les phanérogames annuels ont une patrie de plus larges dimensions que les phanérogames vivaces et ligneux : « L'aire des plantes est en raison inverse de la complication de leur structure. Il est aussi très-remarquable que, par des causes géologiques probablement antérieures à l'état actuel du globe, l'aire moyenne des espèces diminue graduellement du pôle arctique aux pointes australes des continents.

1. Leps, *Annales hydrographiques*, 1857, 4e trim.; — *Bulletin de la Société de Géographie*, septembre 1865. — Laverrière.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY



Gravé chez Erhard 12 r. Duguay Trouin.



Dressé par A. Vuillemin d'après Mr. Leps

[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]

Aucune espèce phanérogame, pas même l'ortie ni le pourpier, les plus fidèles parmi les compagnons de l'homme, ne peuple la terre entière. On compte seulement dix-huit espèces qui se montrent à la fois sur la moitié de la surface terrestre, et le nombre total des plantes connues qui occupent chacune un tiers du globe n'est évalué qu'à cent dix-sept. En revanche, il est des végétaux que les botanistes n'ont encore découverts que dans un seul ravin ou sur un promontoire isolé. Plusieurs îles éparses dans l'Océan, Sainte-Hélène, Tristan d'Acunha, Juan Fernandez, Madère, les îles Gallapagos, possèdent la plupart de ces plantes solitaires, introuvables ailleurs; mais il est aussi des parties du continent où les espèces ont pour tout domaine un district de quelques lieues ou de quelques hectares, dans lequel on pourrait voir comme une sorte d'île continentale. Quant à la moyenne générale de la surface des aires, elle serait, d'après Alphonse de Candolle, d'environ la cent cinquantième partie de la superficie planétaire, soit à peu près de 300,000 kilomètres carrés.

IV.

Contraste des flores dans les diverses parties du monde. — Les flores insulaires et les flores continentales. — Richesse croissante de la végétation dans la direction des pôles à l'équateur. — Forêts tropicales. — Forêts de l'Amazone.

Considérés dans leur ensemble, les continents eux-mêmes présentent, comme les aires plus étroites, des oppositions remarquables entre les flores. Ainsi, toutes proportions gardées quant à l'étendue, le nouveau monde paraît être beaucoup plus riche en espèces végétales que ne l'est l'ancien. Ce fait s'explique par la disposition générale du continent américain et de ses chaînes de montagnes alignées presque toutes dans la direction du nord au sud. Par suite de la position des Andes et des Cordillières, des montagnes du Brésil, des Alleghanys, des Rocheuses, de la Sierra Nevada et du Coast-Range de

Californie, il se trouve que, sous chaque latitude, les climats les plus divers se succèdent sur les versants opposés, et, par suite, des espèces différentes se développent dans chacun de ces climats distincts. Dans l'ancien monde il n'en est point ainsi, car la plupart des chaînes de montagnes, les Pyrénées, les Alpes, les Balkhans, le Caucase, le Taurus, l'Himalaya, le Karakorum, le Kouenlun, se prolongent dans la direction de l'ouest à l'est, et par conséquent les climats et les flores ne se modifient dans le même sens que par transitions ménagées. D'un autre côté, l'Afrique, malgré la situation de la plus grande partie de sa masse sous la zone torride, est relativement moins riche que les autres continents en espèces de plantes; ce fait s'explique par l'uniformité générale de la contrée, par le petit nombre des chaînes de montagnes, par la faible humidité de ses vents. En revanche, l'extrémité méridionale de l'Afrique, la colonie anglaise du Cap, est d'une richesse végétale extraordinaire. Dans la zone tropicale, les fleurs aux couleurs les plus éclatantes se montrent principalement sur les grands arbres; dans la zone subtropicale, les arbustes sont les plantes les plus remarquables par leurs fleurs, tandis que, dans les régions tempérées, ni les arbres ni les arbustes ne peuvent être comparés, pour leur magnificence, au tapis diapré des prairies[1].

Un autre contraste avait été signalé par divers botanistes, celui de la pauvreté relative des flores insulaires comparées aux flores continentales. Toutefois cette question est controversée, et le manque d'observations suffisantes ne permet point encore de la résoudre. En tout cas, il est certain que les îles considérables, telles que la Sicile, la Grande-Bretagne, Cuba, Ceylan, ont des caractères de végétation tout à fait analogues à ceux des continents voisins; de même les Feröer et Spitzberg ont autant d'espèces, en proportion, que les grandes terres situées à une égale distance du pôle. Par contre, l'archipel du Cap-Vert, les Canaries, Madère, les Açores, ont de trois cents à cinq cents espèces de moins qu'on n'en trouverait sur une

1. Moritz Wagner, *Die Republik Costarica*, p. 114.

même étendue continentale; Maurice et la Réunion ont aussi un nombre relativement faible de plantes indigènes, et il est naturel de penser avec M. de Candolle, que la pauvreté de ces îles provient en partie de leur isolement dans la grande mer.

Le fait capital de la distribution des plantes sur le pourtour du globe est la richesse croissante des flores dans la direction des pôles vers l'équateur. Ainsi l'île de Spitzberg, la mieux explorée des terres de la zone glaciale, a seulement quatre-vingt-dix espèces; tandis qu'à surface égale, la Silésie en a treize cents, la Suisse deux mille quatre cents, et que la Sicile, d'une étendue moins considérable, en possède deux mille six cent cinquante[1]. Il est vrai qu'en beaucoup de contrées de la zone tropicale, on constate des exceptions à cette loi de l'augmentation des espèces vers l'équateur; mais toutes ces exceptions peuvent être facilement expliquées par le sol et les climats locaux. Le Sahara a certainement une flore bien moins riche en proportion que ne l'est celle de l'Europe méridionale; mais aussi quelle différence n'y a-t-il pas entre les deux régions sous le rapport du relief et de la variété! Si l'Égypte a seulement un millier de plantes, tandis que la Grande-Bretagne, située beaucoup plus au nord, offre, à égale étendue, quatorze cent quatre-vingts espèces, c'est que la vallée du Nil n'est qu'une étroite terre alluviale, bornée d'un côté par les sables, de l'autre par des rochers dépourvus d'humidité. Sans se laisser tromper par la pauvreté relative de la végétation égyptienne, les Grecs affirmaient déjà que la multitude des plantes augmente de plus en plus vers le midi; ils ajoutaient même ce détail bizarre que, dans ces contrées brûlantes du sud, le sol s'affaisse sous l'énorme poids des arbres qu'il supporte[2]. Quant aux îles coralligènes et de formation volcanique éloignées des continents, le manque de communications possibles a dû nécessairement empêcher ces terres nouvelles de se peupler, si ce n'est d'un petit nombre d'espèces dont les semences résistent au sel de la mer ou sont transportées par

1. Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, p. 1287.
2. Carl Ritter, *Geschichte der Erdkunde*, p. 42.

les oiseaux. Sur l'île solitaire de Pâques, Hooker n'a pu découvrir que dix-huit plantes à fleurs, tandis que dans les environs de Londres on en rencontre quatre cents dans un mille carré. Dans l'île de Chatham, de l'archipel des Gallapagos, Darwin n'a trouvé que dix espèces, et si chétives qu'elles auraient paru appartenir plutôt à la flore polaire qu'à la flore équatoriale. Le premier des de Candolle a constaté aussi que, par suite de la plus grande humidité des îles, la proportion des dicotylédonées y est beaucoup moindre que sur les continents[1].

Unger a proposé de partager la surface de la terre en différentes zones de végétation se succédant symétriquement des deux pôles à l'équateur. La zone polaire boréale, à laquelle correspondrait une zone australe encore inconnue, comprend l'archipel Glacial de l'Amérique, le Groenland, le Spitzberg, la Sibérie du Nord. Les forêts y manquent totalement; ainsi que le dit Linné, les lichens, « les derniers des végétaux, y couvrent la dernière des terres. » En Islande ne croît plus le froment; les arbustes n'y sont que des broussailles; un mûrier solitaire qui pousse à l'abri d'une muraille à Akreyri est nommé avec orgueil par les insulaires « l'arbre[2]. » Au sud de cette zone polaire s'étend une autre zone, dite arctique, où se montrent les premiers arbres et les premières cultures. Vient ensuite la zone subarctique de l'Amérique anglaise, de l'Islande, de la Russie du Nord, caractérisée par les tourbières, les toundras et les forêts de pins, de sapins, de mélèzes et de bouleaux. La zone tempérée froide, dont la limite méridionale se trouve vers le 45e degré de latitude, présente aussi des régions à tourbières et à forêts, mais elle est aussi le territoire par excellence pour les prairies, et ses bois se composent des espèces les plus variées. Dans la zone tempérée chaude, les prairies deviennent plus rares, tandis que les espèces arborescentes gagnent encore en splendeur et en éclat. Les palmiers, les bananiers font leur apparition dans la zone subtropicale; mais c'est aux tropiques et à l'équateur que la végétation

1. Oscar Peschel, *Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde*, p. 47 et suiv.
2. Oscar Peschel, *Ausland*, 18. 1er mai 1869.

se développe dans toute sa merveilleuse richesse. Au sud de la ligne équinoxiale, les flores se succèdent dans un ordre inverse jusqu'au pôle antarctique. D'ailleurs, on le comprend, ces divisions sont en grande partie arbitraires, et dans la nature les transitions s'opèrent de zone à zone d'une manière insensible. Chose remarquable! une des zones les plus tranchées se trouve précisément partagée en deux par un vaste bassin maritime. C'est la zone de végétaux qui entoure la Méditerranée, du golfe du Lion au delta du Nil. La flore méditerranéenne est ainsi une étroite bande circulaire de 8,000 kilomètres de développement.

FLORE MÉDITERRANÉENNE.

Fig. 169.

Grâce à toutes les diversités du relief de la terre, aux différences de la température et du climat, grâce aussi à ces déplacements séculaires des continents qui ont eu pour résultat de déplacer également les flores, toutes les contrées se distinguent les unes des autres par une végétation d'une beauté particulière. La Scandinavie a ses forêts de conifères, l'Angleterre a surtout ses chênes et ses prairies, le nord de l'Allemagne a ses tilleuls, la Russie ses bouleaux, la France ses ormeaux et ses

hêtres. On ne saurait penser aux Vosges ni à la Forêt-Noire sans se rappeler les longues pentes couvertes de sapins, et quand on songe aux Alpes, on les revoit toujours dans sa mémoire avec leurs bosquets de noyers ou de châtaigniers, leurs forêts de mélèzes, leurs rhododendrons et leurs gentianes. De même on ne peut se figurer la terre si belle de l'Italie sans les oliviers, les cyprès et les pins maritimes. La terrible monotonie des plaines du Sahara est relevée par les fraîches oasis de dattiers, et vers l'extrémité méridionale du continent, au cap de Bonne-Espérance, les coteaux et les monts aux contours sévères sont égayés par leurs tapis de bruyères aux fleurs multicolores. Les États-Unis ont leurs arbres aux merveilleuses teintes d'automne, où l'on retrouve à la fois toutes les nuances, depuis le pourpre le plus éclatant jusqu'au vert le plus sombre. Le contraste est grand entre ces forêts aux couleurs variées et l'uniforme étendue des prairies de l'ouest ou les déserts du Nouveau-Mexique, parsemés de cactus. Dans l'Amérique du Sud, les forêts d'araucarias des montagnes du Chili et du plateau brésilien ne sont pas en opposition moins tranchée avec les pampas et leur végétation si riche en légumineuses. A une autre extrémité du monde, la flore australienne contraste avec celle de la terre entière par l'aspect d'antiquité de ses eucalyptus, de ses casuarinées, datant peut-être de l'époque jurassique. Les espèces de la Nouvelle-Zélande se distinguent aussi par leur physionomie générale de celle de tous les continents. Nulle part on ne voit une aussi forte proportion d'arbres et d'arbustes, comparés aux plantes annuelles; nulle part les cryptogames n'offrent une pareille variété de formes. Les prairies manquent, mais, en revanche, les fougères poussent en immenses forêts, comme à l'époque de la houille. La succession des âges terrestres, que les géologues cherchent dans les strates fossilifères et qu'ils évaluent à des millions de siècles, les botanistes peuvent la voir résumée à l'époque actuelle en parcourant la surface du globe. Les flores des périodes anciennes, étagées dans les terrains de l'Europe occidentale comme dans un immense ossuaire, vivent encore plus ou moins modifiées sur divers points de la planète.

Les forêts vierges, où l'homme ne s'est encore hasardé que pour se frayer des sentiers, sont parmi les spectacles les plus grands de la nature. Celles des pays froids, composées pour la plupart de conifères au tronc droit, au feuillage sombre, ont quelque chose de solennel et d'auguste. Les fûts puissants des arbres s'espacent avec régularité comme les piliers d'un édifice immense, et dans l'éloignement se confondent en mystérieuses avenues. Les branches, largement étalées et chargées de mousse grisâtre, de lichens surtout, ne laissent passer à travers leurs rameaux qu'une lumière diffuse, répandue d'une manière égale sous la voûte de verdure épaisse; quelques racines noueuses soulèvent çà et là le sol couvert de feuilles tombées et parsemé de modestes plantes, les unes blotties au pied des troncs, les autres groupées en massifs dans les espaces libres. Rien ne pénètre du dehors dans ce monde à part, si ce n'est un rayon de soleil dardé comme une flèche entre deux branches et le gémissement que le vent arrache aux ramures froissées.

Les grandes forêts tropicales ont un autre caractère et frappent surtout par la variété des espèces, la fougue de la végétation, la magnificence des fleurs. Ce n'est point un ensemble majestueux et régulier comme la forêt de sapins ou de mélèzes, c'est un chaos de verdure, un entassement de forêts entremêlées, où le regard cherche vainement à reconnaître les innombrables formes végétales. Au-dessus des larges cimes touffues, se superposent d'autres cimes et se dressent les palmiers, reliés les uns aux autres par le lacis inextricable des lianes; des rameaux brisés, suspendus par des cordages presque invisibles, se balancent dans l'espace; des pandanus jaillissent comme des fusées de verdure du fouillis des branches et des feuilles de toute espèce, disposées en panaches, en éventails, en bouquets, en guirlandes; des orchidées épanouissent dans l'air leurs fleurs étranges; les arbres, tombés de vieillesse, disparaissent sous des réseaux de fleurs, et la plupart des troncs encore debout sont eux-mêmes entourés comme d'une nouvelle écorce par les tiges en spirale de parasites au feuillage élégant. Tandis que, dans les forêts du nord,

tous les arbres se ressemblent et pourtant se dressent isolés comme les citoyens égaux d'un peuple libre, les innombrables espèces de la forêt tropicale, si différentes les unes des autres par leurs dimensions, leurs formes, leurs couleurs, semblent se confondre en une même masse de végétation; l'arbre a, pour ainsi dire, perdu son individualité dans la vie de l'ensemble. Un chêne de la zone tempérée étalant ses rameaux à l'écorce rugueuse, plongeant ses racines dans le sol lézardé et jonchant la terre de ses feuilles séchées, paraît toujours un être indépendant, même quand il est environné d'autres chênes comme lui; mais les plus beaux arbres d'une forêt vierge de l'Amérique du Sud ne s'appartiennent point : tordus les uns autour des autres, noués dans tous les sens par des cordages de lianes, à demi cachés par les parasites qui les étreignent et qui boivent leur séve, ils ne sont plus que de simples molécules dans un immense organisme recouvrant des contrées entières.

C'est de la surface unie de la mer ou d'un grand fleuve qu'il faut voir la forêt tropicale, surtout lorsqu'elle revêt les flancs d'une colline élevée. Du sommet jusqu'à la base, ce n'est qu'un tumulte, un océan de feuillage; sous cette masse ondulant à la brise, c'est à peine si l'on peut se figurer le sol qui la supporte : on croirait que la forêt tout entière a sa racine dans les eaux et flotte comme une énorme plante pyramidale, haute de 200 mètres. Toutes les branches sont reliées les unes aux autres, et le moindre frémissement se propage de feuille en feuille à travers l'immensité verdoyante. Là où la colline présente une déclivité rapide, de grandes masses de branches, de lianes et de fleurs s'épanchent de cime d'arbre en cime d'arbre, semblables aux nappes d'une cataracte. C'est un Niagara de verdure. Une atmosphère humide et chargée des senteurs mélangées des plantes s'échappe de la forêt et se répand au loin : par un temps brumeux, des voyageurs ont reconnu, à 130 kilomètres en mer, le voisinage des côtes de la Colombie aux parfums répandus dans l'espace[1]

1. Kiddle, *Nautical Magazine*, March 1865.

De toutes ces végétations tropicales si merveilleusement riches, la plus variée est celle du bassin de l'Amazone, ainsi que la situation géographique du pays suffirait à le révéler d'avance, car nulle part ne se trouvent plus admirablement réunies sur une aussi vaste étendue la richesse alluviale du sol, l'abondance des pluies et l'activité des rayons solaires. Sur un espace de plusieurs milliers de kilomètres du nord au sud et de l'est à l'ouest, les plaines amazoniennes ne sont qu'une forêt sans bornes, interrompue seulement par les larges canaux du fleuve et de ses tributaires, par les marécages et les lagunes de leurs bords, et çà et là par des clairières de hautes herbes, où s'élèvent quelques arbres épars. Devant l'immense variété des plantes qui se montrent à lui, le botaniste reste confondu. Déjà dans le fleuve lui-même il voit les processions de troncs entremêlés et de branchages encore garnis de leurs feuilles qu'entraîne le courant comme une sorte de forêt flottante. Sur le sol fangeux de la rive, ce sont les roseaux pressés qui s'avancent en promontoires au pied de l'immensité verdoyante des arbres; puis, sur la berge proprement dite, chaque laisse annuelle déposée par les eaux a sa végétation particulière de plantes, d'autant plus haute, plus touffue et plus croisée de lianes qu'elle pousse sur un sol plus anciennement déposé. Au delà de ce premier rempart d'arbres nouveaux qui cache en beaucoup d'endroits la véritable forêt[1], commence enfin la vierge solitude des grands bois, où la flore amazonienne se montre à la fois dans toute sa délicatesse et dans toute sa majesté, grâce au nombre prodigieux des plantes qui la composent. Les types les plus divers, herbes rampantes et troncs gigantesques, se mêlent et se confondent : les lianes légères, suspendues aux branches, relient en un même réseau les ramures de la forêt tout entière. C'est là le tableau merveilleux qu'il faut aller contempler en pleine nature sauvage, soit au bord de quelque lagune où s'étalent les énormes feuilles et les fleurs doucement rosées de la *victoria*, soit aussi de la surface d'un tortueux ruisseau, véritable sentier liquide,

1. Avé-Lallemant, *Reise durch Nord-Brasilien.*

tout festonné de guirlandes de lianes entrelacées, qui se balancent au-dessus du canot des voyageurs. En aucun pays du monde, la force et le charme, la grandeur de l'ensemble et la grâce infinie des détails ne se combinent d'une manière aussi complète : c'est le triomphe de la nature vivante. La forêt est à la fois grandiose et joyeuse, et n'a rien de la douce mélancolie des bois de la zone tempérée[1].

Si toutes les plantes de la terre ne se trouvent pas dans les immenses *selvas* de l'Amazone, du moins tous les genres, même ceux qui manquent absolument, y sont représentés par des équivalents. Ainsi la famille des rosacées, qui nous donne les charmantes églantines de nos haies et les admirables roses de nos jardins, qui produit la plupart de nos fruits, la poire et la pomme, la pêche, la cerise, la nèfle, l'amande et tant d'autres encore, existe à peine sous les tropiques; mais elle est remplacée par une autre grande famille, celle des myrtacées, qui produit la goyave, la pitanga, ainsi qu'une multitude d'autres fruits savoureux dont les noms sont à peine connus ou même ignorés en dehors des régions tropicales. Ains chaque zone a sa famille spéciale d'arbres porteurs de fruits. De même les humbles céréales du nord, dont les grains servent de base à l'alimentation de l'homme, ont pour équivalent, dans le voisinage de l'équateur, la grande famille des palmiers, dont un si grand nombre d'espèces vivent sur les bords de l'Amazone et de ses affluents. Chacune de ces rivières a son espèce caractéristique de palmier donnant à ses forêts et aux villages de ses berges un aspect nouveau; même sur le fleuve principal, les variétés se succèdent plusieurs fois de l'embouchure au confluent du Solimões avec le rio Negro et plus haut, jusqu'aux montagnes du Pérou[2]. Les espèces de l'arbre qui nourrit les indigènes de ses fruits et leur fournit en même temps de l'eau rafraîchissante, des tissus, des matériaux de construction, sont encore plus nombreuses que les céréales des pays du nord. Et cependant les

1. Agassiz, *Conversaçoes scientificas sobre o Amazonas.*
2. *Id., ibid.*

régions amazoniennes ne sont guère connues aujourd'hui que dans le voisinage immédiat des rives fluviales, et chaque exploration des botanistes y révélera l'existence de nouveaux trésors végétaux.

V.

Étages de végétation sur les pentes des montagnes. — Pénétration réciproque des flores superposées. — Limites supérieures des espèces végétales en divers pays du monde. — Irrégularités dans l'étagement des flores.

Par suite de l'abaissement graduel de la température sur les pentes des montagnes, des zones de végétation, analogues à celles qui se succèdent de l'équateur au pôle sur la rondeur du globe, s'étagent de la base au sommet des monts. Pour la flore comme pour le climat, on croirait marcher dans la direction du cercle polaire, à mesure qu'on s'élève sur les flancs d'un pic à une plus grande altitude au-dessus des plaines; seulement les intervalles de climat que l'on mettrait des jours à franchir en voyageant vers le pôle, on les traverse en quelques minutes d'ascension, puisque, dans les montagnes, une hauteur de 160 à 240 mètres correspond en moyenne à 1 degré de latitude. Au pied du plateau qui porte le Cayambe, dans les Andes équatoriales, la végétation est celle de la zone torride; à la cime neigeuse de ce volcan, que coupe la ligne même de l'équateur, on trouve des plantes rappelant celles du Groenland; mais quelque élévation que l'on atteigne, on rencontre toujours des organismes vivants. Sur les neiges elles-mêmes, les cellules du *protococcus* se groupent et s'animent, de même qu'au plus profond des mers la sonde découvre encore des diatomées en myriades infinies.

La limite qui sépare la flore de la montagne de celle des plaines inférieures n'est pas toujours bien distincte, et l'on doit souvent traverser de vastes régions douteuses avant de savoir, par l'aspect des plantes environnantes, quelle zone de végétation l'on a sous les yeux. De même il est parfois bien

difficile de reconnaître sur le versant d'une chaîne les diverses flores étagées en hauteur, à cause des plantes intermédiaires appartenant à la fois à deux zones, et de celles qui, par suite des innombrables diversités du milieu, descendent au-dessous ou montent au-dessus de la région normale de leur demeure. C'est ainsi que, sur les flancs du volcan de Chiriqui, Moritz Wagner a trouvé des prairies et des chênes verts à côté des palmiers-euterpe et des bégonias[1]. De même aussi, dans l'État colombien de Santander, le bananier et la canne à sucre donnent d'excellents produits à 2,757 mètres de hauteur, au milieu de la région des chênes et des bouleaux. Il y a donc non-seulement superposition, mais aussi pénétration réciproque des climats et des forêts. Dans la Cordillère de Valdivia, ce mélange des flores est tel, que les arbres de la plaine montent presque jusqu'à la limite inférieure des neiges persistantes, grâce à l'abondance extrême des pluies et à l'égalité du climat[2].

Les monts où les limites entre les zones sont le plus nettement tranchées sont, on le comprend, ceux dont les pentes sont coupées d'escarpements abrupts. Une roche à pic de quelques centaines de mètres de hauteur est le plus souvent une frontière visible entre deux flores : on en voit un magnifique exemple à la chute de Tequendama, dans la Colombie, où l'eau plonge de la zone des pommiers et du seigle pour tomber dans celle des palmiers-maurice. De même un brusque changement dans les conditions physiques du lieu peut délimiter nettement deux zones de végétation. Dans la Vallouise, non loin de la base du Grand-Pelvoux, on remarque, sur le flanc méridional de la montagne de l'Échauda, une ligne de démarcation, droite comme si elle eût été tirée au cordeau, entre la zone des arbustes et celle du gazon court des hauts pâturages : c'est que la partie inférieure de l'Échauda est abritée par un promontoire au-dessus duquel passe librement le vent froid descendu des glaciers. Sur les

1. *Mittheilungen von Petermann*, XI, 1862.
2. Grisebach, *Geographisches Jahrbuch von Behm*, 1866.

flancs du volcan de Riñihue, au Chili, M. Frick a remarqué aussi que la ligne indiquant la limite des arbres est d'une horizontalité parfaite[1].

Les phénomènes qui contribuent, chacun pour sa part, à rendre indécises les limites des flores superposées varient dans leur action suivant les innombrables diversités des versants. Chaque différence dans la pente, l'exposition, la nature ou la dureté du sol produit une différence correspondante dans la largeur de la zone où l'espèce végétale se développe en liberté. Dans telle vallée, bien abritée des vents froids, largement ouverte au souffle tiède de la plaine et arrosée par les pluies avec abondance, les plantes des terres inférieures montent parfois à des hauteurs de plusieurs centaines ou même de milliers de mètres au-dessus de leur patrie; ailleurs, au contraire, les plantes de la zone élevée, favorisées par les vents froids qui s'engouffrent dans les gorges, descendent à une grande profondeur au-dessous de la limite idéale de leur milieu. De même les espèces qui vivent dans le voisinage des neiges cheminent parfois avec les blocs erratiques sur le dos des glaciers, puis sont poussées par les moraines frontales jusque dans les plaines inférieures; d'autres fois, elles s'épanchent du haut des sommets avec les éboulis pierreux, et quand on passe au pied d'un escarpement, on est tout étonné de voir une colonie étrangère croître et prospérer au milieu de populations de plantes d'un autre climat. Même les avalanches de neiges, qui fondent lentement dans les prairies au-dessous des couloirs d'où elles sont tombées, laissent, comme marques de leur séjour, des îlots d'espèces particulières. Deux lois agissent en sens contraire sur les flancs des montagnes : l'une qui tend à faire monter vers les sommets les plantes inférieures, l'autre qui tend à faire descendre celles des hautes cimes, et, par suite de cet incessant conflit, les limites des zones se déplacent constamment avec les oscillations des climats[2].

1. *Mittheilungen von Petermann,* 1864, II, p. 52.

2. E. Rambert, *les Plantes alpines;* — Gustav Mann, *Mittheilungen von Petermann,* I, 1865.

Depuis Humboldt, on a pris souvent le Chimborazo et le Popocatepetl pour types des monts à étages superposés de végétation; toutefois ces deux montagnes ne peuvent être citées que comme les représentants des régions tempérées sur lesquelles elles reposent, car elles se dressent sur des plateaux, et, pour trouver la flore tropicale, il faut se rendre à une assez grande distance de leurs bases. L'Orizaba du Mexique, dont le cône régulier se voit si bien de la mer, et la Sierra Nevada de Santa-Marta, qui domine de 6,000 mètres les plages néo-grenadines, sont les exemples les plus frappants de cet étagement des climats et des flores terrestres, car de la base on peut distinguer vaguement sur les pentes tout un résumé de la végétation du globe, depuis celle des cocotiers, qui se penchent au-dessus des rivages, jusqu'à celle des plantes alpines, dont le vert se révèle à travers l'espace par le contraste qu'il fait avec la blancheur des neiges. Sur les flancs du volcan de Chiriqui, montagne de moindre hauteur qui s'élève également sur les bords de la mer des Antilles, M. Moritz Wagner a pu mesurer avec précision la hauteur des étages successifs. Celui des palmiers et des musacées s'élève à 600 mètres environ; les

CULTURES DE JAVA.

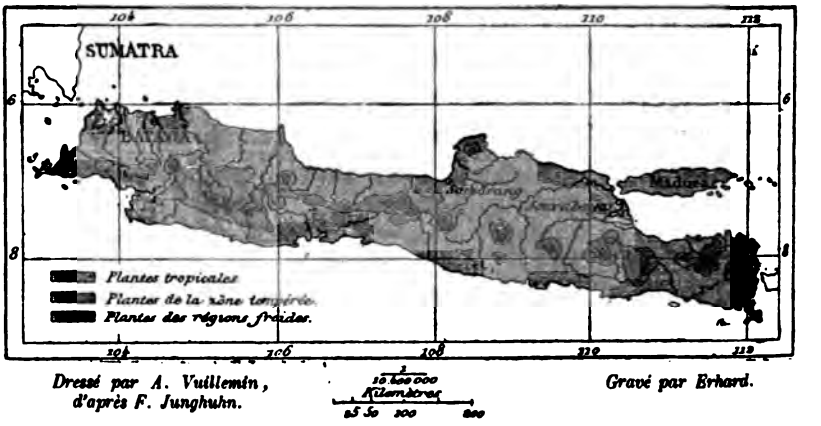


Fig. 170.

fougères arborescentes et les orchidées se montrent de 600 à 1,300 mètres; au-dessus, les rosacées croissent jusqu'à 1,700 mètres; plus haut, de 1,700 à 3,300 mètres, s'étend la

région des chênes et des bouleaux. Dans l'île de Java, les volcans isolés qui se dressent au-dessus des campagnes à l'exubérante végétation tropicale sont aussi admirablement situés pour que l'on puisse étudier sur leurs flancs les flores et les cultures étagées de la base à la cime des monts (fig. 170).

Les montagnes isolées qui baignent dans une atmosphère où les phénomènes météorologiques s'accomplissent avec une grande régularité, offrent en conséquence une série normale de flores étagées du sommet à la base. Parmi les montagnes qui doivent être considérées comme types pour la distribution régulière des zones de végétation, on peut citer le pic de Teyde, le mont central des Canaries. En descendant des hauteurs du volcan dans la direction d'Orotava, on ne voit d'abord que des *retamas*, et toujours des *retamas*, espèce de genêt grisâtre, qui se complaît dans le sol de cendres et de débris. Tout à coup une nouvelle plante apparaît, c'est une bruyère, et bientôt on est de tous les côtés entouré de bruyères; les *retamas* ont complétement disparu. Un vieux pin solitaire marque la ligne de démarcation nettement tranchée qui sépare sur le flanc de la montagne la zone des plantes à teinte sombre de

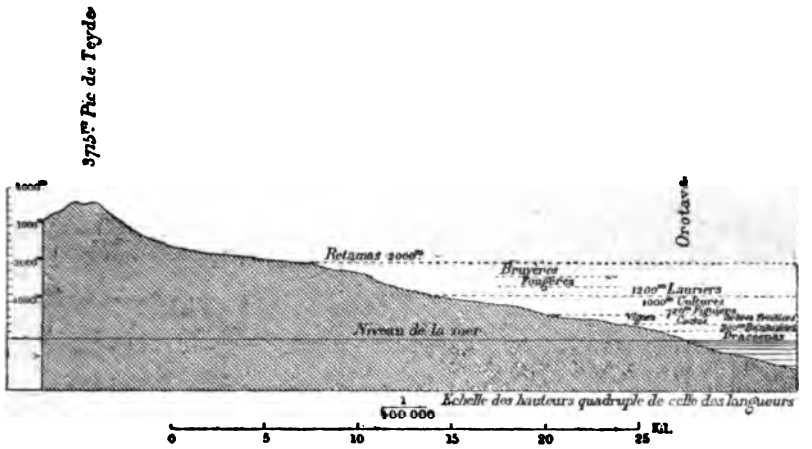


Fig. 171. — Étages de végétation sur les flancs du pic de Teyde (île de Ténériffe.

celle des plantes verdoyantes. A mesure que l'on descend, les bruyères sont plus hautes et plus pressées, puis elles se mêlent aux fougères; vers 1,200 mètres d'altitude, des lauriers se

dressent çà et là au milieu des broussailles de plus en plus épaisses, et le sol volcanique se recouvre de gazon. Au-dessous de 1,000 mètres commencent les cultures, les lupins, le blé, quelques légumes; on aperçoit des ronces croissant au bord du sentier. A 720 mètres se trouve le premier figuier, puis on entre dans la région des vignes, des cactus et des arbres fruitiers; à 300 mètres, on entre enfin dans la zone subtropicale indiquée par les bananiers et les dracœnas[1].

En France, le Canigou est, parmi les hautes montagnes, celle qui se dresse le plus superbement au-dessus des plaines, et sur ses flancs, visibles en entier de la pleine mer, M. Aimé Massot et d'autres botanistes ont pu mesurer avec une grande exactitude les zones étagées de la végétation. Les oliviers qui recouvrent les campagnes de la Têt et du Tech croissent aussi sur les racines avancées du mont jusqu'à 420 mètres d'altitude; la vigne s'élève plus haut, mais à 550 mètres elle disparaît à son tour; au delà de 800 mètres, cesse de croître le châtaignier. Les derniers champs, cultivés en seigle et en

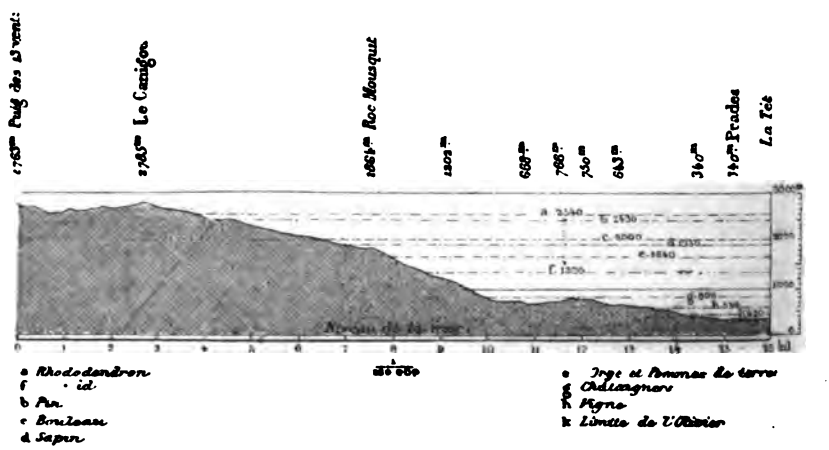


Fig. 172. — Étages de végétation sur les flancs du Canigou.

pommes de terre, ne dépassent point 1,640 mètres, hauteur à laquelle le hêtre, le pin, le sapin, le bouleau, souffrent déjà du vent et de la rigueur des hivers. A 1,950 mètres s'arrête le

1 Piazzi Smith, *Teneriffe*, p. 266 et suivantes.

sapin; le bouleau ne se hasarde point au delà de 2,000 mètres; mais le pin, plus hardi, escalade les rochers jusqu'à l'altitude de 2,430 mètres, non loin de la cime. Au-dessus, la végétation ne se compose plus que d'espèces alpines ou polaires. Le rhododendron, dont les premières touffes s'étaient montrées à 1,320 mètres, a pour limite une élévation de 2,840 mètres. Quant au genévrier, il monte en rampant et en cachant à demi son branchage dans le sol jusqu'à la pointe terminale, haute de 2,785 mètres et couverte de neige pendant trois mois de l'année.

Les étages de végétation ont été étudiés avec soin sur les pentes de plusieurs autres montagnes de l'Europe tempérée, notamment sur les flancs du Ventoux par M. Charles Martins; mais c'est dans les Alpes surtout que les plus célèbres botanistes de notre siècle ont fait leurs recherches comparatives sur les flores des diverses altitudes. Les limites de ces flores varient, on le comprend, suivant la forme, l'exposition, la hauteur des montagnes, la nature des roches, l'humidité du sol, l'abondance des neiges, les conditions météorologiques de l'atmosphère ambiante. Il est donc impossible de donner des chiffres précis pour l'ensemble des massifs alpins, et les moyennes obtenues par les savants n'ont qu'une valeur tout à fait générale. Sans tenir compte de la limite supérieure des cultures, qui varie singulièrement dans les hautes vallées en proportion de l'industrie, de l'intelligence, de l'état social des habitants, on peut dire que la végétation de la plaine ne dépasse guère un millier de mètres; au-dessus, les pentes où l'homme n'est pas violemment intervenu pour changer les productions du sol sont naturellement couvertes de vastes forêts. Toutefois les grands arbres diminuent graduellement en hauteur, à mesure qu'on s'élève dans une zone où l'air est plus rare et plus froid; leur bois devient plus dur, plus noueux, et les espèces hardies qui se hasardent non loin de la région des neiges finissent par ramper sur le sol comme pour chercher un abri entre les pierres. Au nord de la Suisse, le hêtre ne dépasse point l'altitude de 1,300 mètres, et l'épicéa s'arrête à 1,800 mètres. Dans le groupe du mont Rose, la même essence fores-

tière, qui se rapproche le plus de la zone des neiges persistantes, monte jusqu'à 2,000 mètres sur le versant septentrional, tandis que, sur le versant opposé, le mélèze, encore plus hardi, atteint sa limite supérieure à 2,270 mètres. Plus haut, on ne voit que les troncs bizarrement contournés de quelques pins *mugho*, des rhododendrons, des saules herbacés, des genévriers, puis toute végétation se fait humble et s'attache au sol pour échapper au souffle glacial du vent et se laisser recouvrir en hiver d'une couche protectrice de neige. Jusqu'au bord des glaciers, jusqu'aux blanches surfaces des névés, croissent des plantes phanérogames; même à 3,500 mètres de hauteur, on voit des androsaces, des gentianes, des saxifrages et le charmant carnillet aux fleurs roses gracieusement blotties dans un coussin de mousse verte; au milieu de l'été, des flocons fraîchement tombés recouvrent parfois à demi les humbles plantes : on dirait que la neige est veinée de sang. Enfin les rochers les plus élevés sont couverts çà et là comme d'une rouille par des lichens, et souvent les neiges elles-mêmes sont nuancées en rouge, en vert, en jaune sale, par une flore de cryptogames rudimentaires.

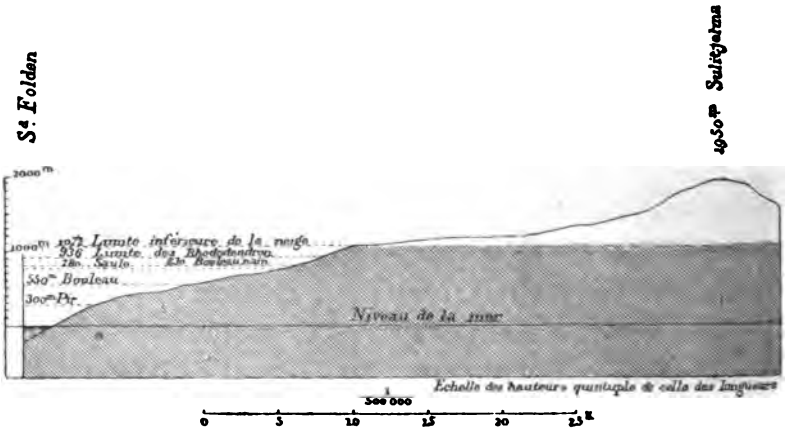


Fig. 173. — Etages de végétation sur le Sulitjelma.

La distribution des espèces végétales s'opère d'une manière analogue sur les flancs des autres chaînes de montagnes situées au nord des Alpes, les Vosges, l'Erzgebirge, les Sudètes, les Kjölen; seulement, ainsi qu'on peut le voir sur les pentes

du Sulitjelma, qui se dresse en Norvége sous le 68e degré de latitude, la série des étages de végétation devient de moins en moins riche à mesure qu'on avance vers le nord, à cause de la diminution graduelle de la température moyenne et de la faible altitude relative à laquelle commencent les neiges persistantes. Il est à remarquer aussi que les différentes espèces sont loin de se succéder dans le même ordre sur le versant des montagnes : les limites supérieures des plantes présentent à cet égard les plus frappantes irrégularités et s'entre-croisent diversement, au lieu de rester parallèles les unes aux autres, comme on pourrait s'y attendre tout d'abord. Ainsi le tremble s'élève à une moindre hauteur que le hêtre dans les Alpes bavaroises, et le contraire se produit sur les flancs du Canigou; en re-

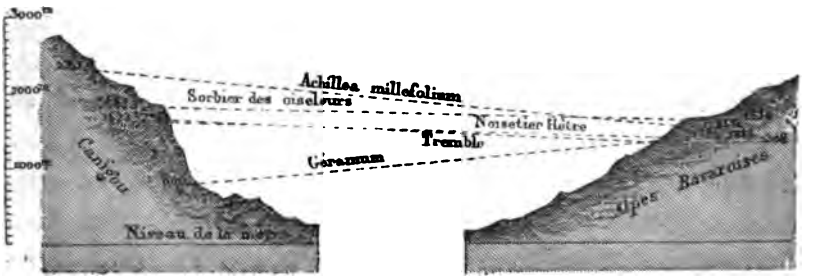


Fig. 174. — Hauteurs comparées de diverses espèces sur le Canigou et dans les Alpes bavaroises.

vanche, sur cette même montagne, le tremble dépasse de beaucoup le noisetier, tandis qu'en Bavière il en est distancé d'environ 70 mètres. On peut essayer de rendre visibles par un diagramme ces remarquables phénomènes d'entre-croisement.

Les limites polaires des diverses espèces végétales ne se succèdent pas non plus exactement dans le même ordre que les limites supérieures des plantes congénères sur les flancs des montagnes. Ces différences dans la distribution de flores correspondantes tiennent à la multitude des causes qui empêchent la propagation des végétaux sur une aire plus étendue. Telle plante est arrêtée d'un côté par le froid de l'hiver, de l'autre par les brouillards, la sécheresse, l'humidité ou le voisinage des neiges. Chaque région de la terre, ayant son

climat propre, offre aussi des conditions spéciales au développement de la vie. Même sur les versants opposés d'une seule montagne, les étages de végétation présentent de remarquables contrastes. Ainsi le pin de montagne (*pinus uncinata*) s'élève à près de 200 mètres plus haut sur les pentes méridionales du mont Ventoux que sur la pente opposée; en revanche, le chêne vert monte à 620 mètres du côté du nord, et à 550 mètres seulement sur le versant exposé en plein au soleil du midi. On remarque aussi que chaque déclivité a ses essences particulières : au midi ce sont les oliviers, au nord les noyers et les sapins[1]. Il est rare que dans les Alpes du mont Viso et du col de Tende on n'observe pas une alternance rhythmique entre les forêts des pentes diversement exposées : les mélèzes recouvrent les escarpements tournés vers le midi, les sapins préfèrent les vallons ombreux regardant le nord. Sur les monts de la zone tropicale, le contraste est plus saisissant encore, puisque du côté tourné vers les grandes pluies s'étendent des forêts impénétrables et que l'autre versant, moins abondamment arrosé, n'a que des herbes pour toute végétation. Humboldt observa ce contraste sur les flancs du Duida, qui domine la bifurcation de l'Orénoque, et l'on peut aussi le constater sur la plupart des montagnes de la Sierra Nevada de Santa-Marta, de même que sur les collines de l'Orégon[2].

VI.

Espèces disjointes. — Déplacement des aires par suite des changements géologiques. — Plantes de la Grande-Bretagne. — Naturalisation. — Incessantes modifications des flores.

Un des phénomènes les plus intéressants de la flore terrestre est la coexistence des mêmes plantes en deux régions séparées l'une de l'autre par de vastes espaces, où le transport

1. Charles Martins, *du Spitzberg au Sahara*, p. 418 et suivantes.
2. Robert Brown, *Journal of the Geographical Society*, 1869.

des graines n'eût pas été possible si la nature n'avait employé d'autres moyens que ceux dont elle se sert dans la période actuelle. Certes il est difficile, dans l'état présent de la science, de se rendre un compte exact de ce morcellement des aires végétales; mais on ne saurait trop l'étudier et lui donner une trop haute importance, car, aussi bien que les roches stratifiées et les fossiles, les fleurs qui s'épanouissent sur le sol racontent dans leur langage silencieux l'histoire des âges écoulés.

Gmelin, le premier et, depuis, nombre d'autres botanistes ont constaté que la végétation des sommets de la Suisse ne ressemble pas seulement à la flore des régions polaires par la physionomie générale de ses plantes, mais qu'elle comprend aussi des espèces parfaitement identiques à des végétaux du Spitzberg, du Groenland, de l'Amérique boréale. Sur le cône terminal du Faulhorn, M. Charles Martins a recueilli cent trente-deux phanérogames, dont quarante se retrouvent en Laponie et huit au Spitzberg. De même le Jardin, qui se dresse isolé au milieu du glacier de Talèfre, ressemble par sa « florule » beaucoup plus à une terre du pôle qu'à un rocher des montagnes de la zone tempérée. Dans ce petit monde à part, entouré de glaces, dont les botanistes ont étudié avec amour jusqu'au dernier recoin, vivent cent vingt-huit espèces de plantes et seulement quatre-vingt-sept phanérogames; sur ce nombre, cinquante appartiennent aussi au Faulhorn, vingt-quatre à la Laponie et cinq au Spitzberg. Les observations faites sur d'autres points élevés des Alpes, aux Grands-Mulets, au col de Saint-Théodule, ont donné des résultats analogues. Sur les montagnes Blanches du New-Hampshire on retrouve aussi les mêmes espèces que celles du Labrador, dont plusieurs appartiennent également à la flore alpine des Alpes et des Pyrénées. Enfin l'Atlas et les monts de l'Abyssinie, le pic de Camerones, les volcans de Java[1], les chaînes du Brésil, les Andes et même les escarpements rocheux de la Terre-de-Feu, ont parmi leurs espèces des plantes d'Europe. D'énormes distances de 1,000 à 10,000 kilomètres séparent ces aires disjointes des

1. Alfred Wallace, *Malay Archipelago*, vol. I.

montagnes du sud et des plaines du nord, et l'on ne saurait admettre que des oiseaux ou les courants atmosphériques aient porté les semences de l'une à l'autre région, car la naturalisation des espèces est des plus difficiles dans les contrées froides, et la plupart de ces plantes à multiples patries n'ont point de baies que recherchent les oiseaux, ni de graines ailées que soulève le vent.

Les mêmes difficultés se présentent quand il s'agit d'expliquer comment un grand nombre d'espèces d'eau douce vivent dans les fleuves et les lacs privés de toute communication les uns avec les autres. Ce sont des plantes dont les lourdes semences ne peuvent être transportées par les airs et que les eaux de la mer détruisent à la longue; et cependant elles ont su pénétrer dans presque tous les bassins lacustres et fluviaux dont la température leur convient; elles se montrent dans les îles comme dans les continents; elles croissent des deux côtés de larges mers et dans les eaux qui baignent les racines opposées de hautes chaînes de montagnes. Pour ces plantes des eaux, de même que pour celles des monts, les botanistes se demandent comment elles ont pu s'établir à la fois dans les régions froides ou tempérées des deux hémisphères, aux extrémités opposées des continents, puisque la zone torride qui sépare les aires d'habitation sur une distance de plusieurs milliers de kilomètres forme entre elles une barrière infranchissable; ainsi, même aux deux antipodes, à la Nouvelle-Zélande et dans les mers de l'Europe occidentale, Hooker a reconnu 25 espèces d'algues identiques. A cet égard, le genre *spartina* offre les contrastes les plus singuliers. Une espèce, *spartina stricta*, croît aux États-Unis et en Europe sur les rivages de l'Atlantique, et se trouve à Cayenne, à Venise, au cap de Bonne-Espérance; une autre espèce, dite *alterniflora*, qui pousse également sur les côtes de l'Amérique, aux États-Unis et à Cayenne, ne se montre en France qu'en un point, à l'embouchure de l'Adour, et en Angleterre sur les seules plages de Southampton; enfin l'espèce *juncea*, de la Georgie et du Massachusetts, n'apparaît dans l'ancien monde qu'à Fréjus, aux bouches de l'Argens.

Il est vrai que ces dernières plantes, vivant toujours dans les sables et les terres alluviales du bord de la mer, pourraient bien avoir été transportées par des vaisseaux, avec le lest et les marchandises, d'une rive de l'Océan à l'autre rive, et s'être propagées d'elles-mêmes, après avoir séjourné quelque temps dans l'eau marine. M. Godron a vu des graines de graminées germer après immersion pendant un hiver dans un étang salé. Darwin et Martens ont aussi prouvé par des expériences directes que certaines semences peuvent garder leur pouvoir de germination après avoir flotté sur la mer durant 28 et même 137 jours. Ils pensent qu'un dixième des plantes pourraient ainsi se propager spontanément le long des rivages[1]. Il se peut même que l'*eriocaulon septangulare*, herbe américaine d'eau douce, qui fleurit aussi dans l'île écossaise de Skye et dans le district irlandais de Connemara, ait été portée du Canada par le Gulf-stream. On sait quelle est la merveilleuse vitalité de certaines semences. Robert Brown a fait germer des graines de *nelumbium speciosum* déposées dans un herbier depuis 150 ans. Peut-être aussi des semences diverses contenues dans les nécropoles égyptiennes auraient-elles pu, ainsi que l'affirment divers botanistes, garder leur vie latente pendant trente et quarante siècles. Enfin quelques géologues pensent que des plantes rares, germant tout à coup sur les déblais d'anciennes couches fossilifères, proviennent réellement de graines enfouies depuis toute une série de révolutions terrestres[2].

Quoi qu'il en soit, pareils phénomènes n'ont lieu que pour un petit nombre de plantes, et l'on ne pourrait expliquer ainsi comment nombre d'espèces végétales, aux habitations multiples, fleurissent loin de la mer et de toute avenue commerciale, soit dans les lacs et les torrents, soit au flanc des montagnes neigeuses. On ne saurait donc imaginer, à l'égard de ces plantes, que deux alternatives : ou bien leurs germes se sont développés spontanément sur tous les points où se trouvent aujourd'hui des colonies séparées, et chaque sommet

1. *Origin of Species*, p. 365.
2. Alph. de Candolle, *Géographie botanique*, p. 1067.

de montagne, chaque bassin fluvial et lacustre est devenu un centre indépendant de génération végétale, ou bien, ce qui est plus probable, les colonies actuellement éparses ont été jadis reliées les unes aux autres et se sont graduellement séparées ou même déplacées par suite du changement du relief terrestre ou des climats. Les humbles fleurs alpines blotties dans les neiges et le creux des rochers raconteraient ainsi les grandes révolutions du globe.

En effet, pendant les périodes géologiques antérieures, la température moyenne n'a cessé de changer, ainsi que le prouvent les fossiles des couches terrestres. Dans une même contrée, les climats ont été alternativement chauds, tempérés et froids, puis se sont réchauffés de nouveau, et, par suite, les organismes vivants, plantes et animaux, ont dû se déplacer incessamment à la surface de la planète[1]. Vers la fin de l'époque tertiaire, alors que les régions, devenues aujourd'hui les continents de l'Europe et de l'Amérique du Nord, jouissaient d'une chaude température, la végétation devait avoir dans son ensemble un caractère beaucoup plus méridional que de nos jours; de même les terres éparses qui entourent le pôle arctique avaient sans doute une flore uniforme, composée de plantes analogues à celles de notre zone tempérée. Cependant le climat changea peu à peu, et les froids qui devaient amener la période glaciaire commencèrent à régner sur l'hémisphère boréal. De même que pour les hommes et les animaux, ce fut une déroute pour les espèces de plantes trop avancées vers le nord, auxquelles venait à manquer la chaleur nécessaire. Elles battirent en retraite devant les neiges et les glaces, comme une armée poursuivie. Les plantes de la zone polaire gagnèrent peu à peu sur la zone tempérée; celles de la zone tempérée rétrogradèrent vers les tropiques et, par les empiétements graduels de leurs colonies, franchirent même l'équateur, pour s'établir sur les plateaux et dans les plaines aujourd'hui brûlantes de la zone torride. Pendant la série des siècles, d'une longueur inconnue, qui s'écoula pour la planète durant

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Premiers Ages*.

l'époque ou le cycle d'époques auquel on a donné le nom de glaciaire, un certain nombre d'espèces déplacées cherchèrent vainement à s'accommoder au milieu de leurs nouvelles patries, et finirent par succomber, tandis que d'autres plantes, favorisées par les conditions du climat, se faisaient sans peine à la terre d'exil, ou même y jouissaient d'une plus grande prospérité que dans leurs anciennes habitations.

Toutefois la température, incessamment changeante comme tous les phénomènes de l'univers, entra dans une phase nouvelle : à la période du refroidissement succéda celle d'une chaleur croissante à la surface de l'hémisphère boréal, et peut-être aussi sur la terre entière; les glaciers qui remplissaient les gorges des montagnes et s'avançaient au loin dans les plaines reculèrent peu à peu vers les névés, en abandonnant dans les campagnes les amas de terre et de débris qu'ils avaient charriés pendant des siècles; au nord, les neiges des continents et les banquises de la mer s'éloignèrent de plus en plus des zones tempérées pour se rapprocher des pôles. Grâce à la chaleur, les plantes que le froid avait forcées de se réfugier dans les régions équatoriales purent se propager dans les deux hémisphères et se partager ainsi en deux corps d'armée distincts, s'éloignant l'un de l'autre à mesure que la température augmentait. De même les espèces de la zone tempérée empiétèrent graduellement sur le sol dans la direction du pôle et, montant à l'assaut des montagnes, s'emparèrent des moraines et des ravins abandonnés par les glaciers; mais, pour conquérir les monts et les régions polaires, elles durent céder les plaines intermédiaires à d'autres plantes venues du sud. Un espace de plus en plus large, occupé par une flore nouvelle, s'interposa entre les deux fragments séparés de la flore antique; de nos jours, après les âges écoulés, les espèces européennes de l'époque glaciaire n'ont plus d'autre patrie que les terres arctiques et les roches entourées de neiges sur les sommets des Alpes et des Pyrénées. Semblables à ces tribus de montagnards, Basques, Romanches et Vaudois, qui, pour sauvegarder leurs mœurs et leur nationalité, se sont réfugiées dans les hautes vallées, les petites peuplades végétales assiégées par

les plantes des campagnes inférieures se sont retirées sur les cimes neigeuses, où elles retrouvent un climat qui leur rappelle celui de l'époque glaciaire. Ainsi, toute distribution d'espèces qui ne peut s'expliquer par les conditions actuelles de la surface terrestre trouve sa raison d'être dans les conditions antérieures.

Ce n'est pas tout : aux alternatives si importantes des climats se sont ajoutés encore, pour la modification des aires végétales, les nombreux changements de forme et de relief qu'ont subis les continents. Lorsque la Scandinavie était une terre insulaire, lorsque une vaste mer occupait une grande partie des plaines de l'Allemagne du Nord et de la Russie, et qu'un détroit faisait communiquer la mer Noire, la Caspienne et le golfe d'Obi, nul doute que des courants maritimes et des convois de glaces flottantes ne servissent au transport des espèces arctiques sur les flancs des montagnes de l'Europe. Ensuite, tandis que les terres de l'Europe, soulevées hors de la mer Scandinave, prenaient graduellement les contours qu'elles ont actuellement, leur relief se modifiait aussi de diverses manières; des hauteurs s'élevaient et séparaient ainsi des bassins naguère confondus; des collines, rongées par les eaux, disparaissaient peu à peu et, dans leurs débris, s'ouvrait une communication entre deux vallées primitivement distinctes; des lacs se formaient, d'autres se desséchaient, les rivières changeaient de cours. Ainsi le sol était incessamment remanié avec les graines qu'y avaient déposées les végétations antérieures. Qu'y aurait-il d'étonnant à voir maintenant les mêmes plantes aquatiques fleurir en tant de bassins complétement isolés? La communication qui n'existe plus de nos jours a pu exister, directement ou indirectement, pendant les âges géologiques antérieurs, et cela suffit pour expliquer la coexistence des aires d'habitations éparses. Cependant, en suivant cette voie, il est facile de se laisser entraîner à des hypothèses trop hardies, qu'il importe d'appuyer sur des faits établis d'une manière bien certaine avant de les adopter. Ainsi M. Schmidt, ayant constaté que la flore actuelle des côtes de la Sibérie et de la Chine ressemble beaucoup plus à

celle des rivages atlantiques des États-Unis qu'à celle de la Californie et de l'Orégon, en tire la conséquence que l'Asie et l'Amérique formaient autrefois une seule masse continentale, puis que la partie du milieu, après avoir été graduellement submergée dans les profondeurs du Pacifique, se souleva de nouveau pour se revêtir d'une seconde flore, toute différente de la première[1].

La flore des îles Britanniques est un exemple remarquable des changements qui se sont opérés pendant la période moderne dans les aires des espèces. A l'exception d'une seule plante, d'origine américaine, l'*eriocaulon septangulare*, qui se trouve dans une partie des Hébrides[2], toute la végétation anglo-irlandaise était, avant la découverte du nouveau monde, de provenance continentale. La grande majorité des espèces s'est propagée directement de la France, de la Hollande et de l'Allemagne, avant que le canal de la Manche eût été ouvert par les flots; dans le nord, une autre flore, d'un caractère tout arctique, a dû être apportée de la Scandinavie par les montagnes de glace chargées de débris; enfin l'arbousier et une dizaine de plantes croissant dans les régions montueuses du sud-ouest de l'Irlande se retrouvent seulement sur les bords du golfe de Gascogne, en Portugal, à Madère, aux Açores, et l'on a de fortes raisons pour admettre, avec Edward Forbes, qu'elles faisaient partie de la flore d'un grand continent presque en entier disparu. Ainsi les modifications du climat et les oscillations du sol, sans compter les changements, bien plus importants encore, introduits par le travail de l'homme, ont eu pour résultat de concentrer les parties de trois flores bien distinctes dans cet espace relativement étroit des îles Britanniques. En outre, quatre-vingt-trois espèces d'origine étrangère y ont été naturalisées pendant les siècles modernes par l'intervention volontaire ou involontaire de l'homme, qui, lui aussi, est l'une des grandes forces géologiques.

Depuis la découverte du nouveau monde, les deux conti-

1. *Compte rendu de la Société géographique de Russie*, p. 21, 1864.
2. Voir, ci-dessus, p. 529.

nents, que la navigation rattache constamment l'un à l'autre, ont mutuellement enrichi leurs flores par la naturalisation de nouvelles espèces. Au moins 35 plantes de l'Amérique du Nord se sont acclimatées en Europe, et 172 espèces européennes se sont répandues sur le sol des États-Unis. L'Amérique a donc largement gagné à cet échange. L'Europe a déversé sur le nouveau monde des populations végétales aussi bien que des populations humaines; et ces plantes colonisatrices, envahissantes comme les rudes pionniers eux-mêmes, ont en maints endroits déplacé les espèces indigènes. En moins d'un siècle, le trèfle ordinaire d'Europe a conquis, dit-on, près de la moitié du continent, de la Louisiane aux montagnes Rocheuses; de même le chardon (*cynara cardonculus*), importé par mégarde dans le territoire de la Plata en 1769, y recouvre maintenant d'immenses étendues, au grand détriment de l'élève du bétail. En Australie, à Van Diémen, dans la Nouvelle-Zélande, l'invasion des plantes conquérantes s'accomplit d'une manière peut-être plus rapide encore : quelques années suffisent pour changer la physionomie de la végétation dans des districts entiers. Les colons d'Europe, occupés seulement d'agriculture et de commerce, laisseraient volontiers à leur nouvelle patrie cette flore étrange dont l'aspect les étonne; mais de leurs champs et de leurs jardins s'échappent les herbes venues avec eux de la Grande-Bretagne; elles s'élancent à la conquête de nouveaux domaines, et, plus rapides dans leur triomphe que ne le sont les Anglais eux-mêmes, refoulent incessamment devant elles les plantes aborigènes. L'antique flore, à peine modifiée depuis de lointaines époques géologiques, se transforme en moins d'un siècle pour s'accommoder aux temps actuels; on pourrait dire que ces terres, derniers représentants d'une période disparue, abandonnent les modes des anciens jours pour se parer de costumes nouveaux. Ainsi les peuples conquérants et les colons sont toujours accompagnés par des espèces végétales envahissantes comme eux. Les Persans et les Grecs, les croisés, les Arabes, les Mongols et les Russes ont porté avec eux dans leurs grandes guerres d'invasion les plantes de leur

patrie, de même que les pionniers anglais et américains portent les leurs dans les solitudes des terres en friche. A ce point de vue, l'histoire des végétaux naturalisés se confond partiellement avec l'histoire de l'humanité. Les esclaves eux-mêmes se font accompagner sur la terre étrangère par des représentants de la flore du pays : c'est ainsi que les nègres de la Jamaïque et de Haïti ont importé le *canavallia ensiformis*, qui pour eux est une plante fétiche[1]. Enfin les botanistes sont quelquefois aussi, sans le vouloir, les agents d'une nouvelle invasion de plantes; en 1860, ils cultivaient soigneusement dans les serres de Hambourg l'*anacharis alsinastrum* du Canada, et dix années après, cette espèce était devenue la « peste des eaux » dans toutes les rivières du nord de la Prusse.

S'il est des aires végétales qui s'accroissent en étendue, il en est par contre beaucoup d'autres qui se rétrécissent graduellement ou même qui disparaissent : certaines plantes n'ont pas été seulement refoulées, comme les Maoris de la Nouvelle-Zélande ou les Peaux-Rouges des États-Unis, elles ont été détruites et n'existent plus que dans les herbiers, ou bien, à l'état de graines dormantes, dans les fissures des roches. Ainsi, depuis un siècle, nous dit Darwin, l'île de Sainte-Hélène a perdu un grand nombre d'espèces; sa flore, composée de 746 phanérogames, presque toutes d'importation anglaise, ne comprend plus que 52 espèces indigènes; ses anciennes forêts d'essences diverses, qui s'étendaient sur 800 hectares, ont disparu en entier, et plusieurs espèces ont été arrachées et dévorées jusqu'au dernier individu par les chiens et les cochons; d'autres sont fortement menacées, et les botanistes s'attendent à n'en avoir bientôt plus que le souvenir. Même en Europe, où la colonisation n'a pas brusquement modifié les cultures et la végétation, des plantes ont certainement cessé de croître en diverses contrées. Ainsi la châtaigne d'eau (*trapa natans*) et le nénuphar nain, qui peuplaient les eaux de la Suisse à l'époque des cités lacustres,

1. Schweinfurth, *Mittheilungen von Petermann*, IX, 1868.

ne se trouvent plus dans ce pays; certaines régions de l'Irlande où la végétation forestière avait été complétement détruite, soit par l'homme, soit par des causes naturelles, possèdent encore sous les couches sans cesse croissantes de leurs tourbières les débris de pins et de chênes; de même, dans les îles Shettland, on a retiré de la tourbe les troncs d'un sapin, *abies pectinata*, qui manque aujourd'hui complétement dans les îles Britanniques et même dans la Scandinavie.

D'ailleurs, les expériences de tous les forestiers et les témoignages de l'histoire suffisent amplement à démontrer que la nature demande un changement continuel, une incessante rotation dans les produits du sol. En tout pays, une forêt brûlée est immédiatement remplacée par d'autres espèces; une « recrue » d'arbres nouveaux germe de la terre au lieu des anciennes essences, puis, après un certain nombre de siècles, disparaît à son tour pour faire place aux arbres d'autrefois; dans les forêts du Perche chacune de ces recrues dure en moyenne de 290 à 330 années. Même lorsque l'incendie ou la destruction violente ne renversent pas brusquement la forêt, celle-ci n'en finit pas moins par se transformer pendant la durée des siècles. Suivant M. Paul Laurent, tel bois de l'Europe qui, dans le moyen âge, consistait en hêtres, est aujourd'hui composé de chênes. De même, les forêts de chênes, comme celle de Gerardmer, où venait chasser Charlemagne, ont été remplacées par le sapin et l'épicéa; la forêt de Haguenau, devenue futaie de pins, se composait de hêtres il y a un siècle et demi; enfin, nombre de localités qui ont reçu jadis les noms de *Charmette*, de *Pinasse* ou de *Pinière*, *Châtaigneraie*, *Fagette*, *Tremblaie*, *Hêtraie*, *Boulaie*, n'ont plus maintenant les espèces qui leur ont valu la dénomination qu'elles portent. Dans les prairies aussi, il s'établit, dit M. Dureau de la Malle, une alternance de quelques années entre les graminées et les légumineuses. Les peuplades végétales se modifient incessamment; la vie qui germe sur le sol, comme le sol lui-même, est dans un état de transformation perpétuelle.

CHAPITRE II.

LA TERRE ET SA FAUNE.

I.

Les origines de la vie. — Espèces animales. — Multitude des organismes. — La faune des grottes. — Contrastes des terres et des mers.

Les naturalistes n'ont pas encore établi d'une manière précise, dans la multitude des organismes naissants, ce qui distingue la plante de l'animal. Parmi les cellules qui s'agglomèrent en corps vivants et se séparent ainsi de la terre pour constituer des individus ayant leur existence distincte, que de formes douteuses, que d'espèces indécises, difficiles à classer définitivement dans l'un ou l'autre système des êtres organisés! Sont-ce des végétaux? ils croissent et se développent comme eux. Faut-il les classer parmi les animalcules? ils s'agitent et dévorent leur proie. Placés, pour ainsi dire, au seuil de la vie, à l'origine commune des innombrables générations qui naissent et meurent sur la terre, ils nous apparaissent naturellement comme les ancêtres de toutes les espèces de plus en plus développées qui se succèdent en séries parallèles jusqu'à l'arbre et jusqu'au mammifère : car c'est en eux que s'éveille, peut-être inconsciente, cette activité propre qui, dans les organismes supérieurs, se manifeste avec une si grande énergie. D'ailleurs, nous ne savons point ce que c'est que la vie dans ces ténèbres primitives où s'élaborent les germes, où la matière se dégage de la roche ou du limon pour se changer en petits mondes à part réagissant

sur le grand univers par l'ensemble harmonieux de leurs forces. C'est uniquement par la conscience de sa propre vie que l'homme peut juger de celle des autres espèces : il se place orgueilleusement à part, et cependant c'est en ramenant tout à lui-même qu'il établit la série des êtres vivants.

La foule des animaux n'est probablement pas moindre que celle des plantes. Le nombre des espèces est évalué provisoirement à 260,000 ou 280,000; mais en réalité il est inconnu, si ce n'est pour les groupes les plus élevés, et ce sont précisément ces groupes qui sont le moins riches en animaux de formes différentes. La première classe, celle des mammifères, se distingue de toutes les autres par le chiffre le moins considérable de représentants. On en compte à peine quatorze centaines à la surface entière de la planète, dans les eaux et sur la terre ferme; d'après les renseignements de M. Sélys-Lonchamp, il n'y aurait même en Europe que 121 espèces de quadrupèdes terrestres, et, dans ce total, relativement très-faible, ce sont les animaux de petite taille qui l'emportent de beaucoup par le nombre. De même, sur les 8,000 oiseaux divers connus des naturalistes, plus de 5,000 ont des dimensions qui ne dépassent pas celle du moineau. Les insectes, beaucoup plus petits en moyenne que les animaux de toutes les classes supérieures, comprennent à eux seuls plus de 150,000 espèces, soit environ les trois quarts de toute la faune déjà étudiée par les hommes de science. Et cependant, au-dessous du monde des insectes, des mollusques, des vers, des échinodermes, se meuvent en un fourmillement immense des multitudes d'animalcules qui font à la fois l'admiration et le désespoir de ceux qui cherchent à les deviner par le regard du microscope; les organes de ces êtres merveilleux échappent à notre vue; souvent même la goutte dans laquelle ils s'agitent, et qui est leur univers, est invisible à l'œil nu, mais ils compensent leur petitesse par la variété de leurs formes. Certes l'homme peut tenter, grâce à la méthode et aux observations accumulées, de dénombrer les espèces des infiniment petits; mais cette tâche est à peine commencée, et c'est avec difficulté qu'on la poursuit en dehors du

monde des insectes visibles, dans ces ténèbres où la pensée du mathématicien cherchant à saisir les atomes avait seule pénétré. En tout cas, ce que l'on sait déjà permet de reconnaître, du moins du mammifère à l'insecte, une loi de progression d'après laquelle les espèces se font de plus en plus rares à mesure qu'elles s'élèvent dans la série des êtres. En gagnant par la complication de structure, elles perdent en diversité de formes; elles se perfectionnent et deviennent, pour ainsi dire, un résumé des espèces inférieures, mais, en même temps, elles sont de plus en plus limitées en nombre, comme si la nature avait besoin de plus de force pour les produire. Par un contraste remarquable, c'est précisément le contraire que l'on observe dans le monde des végétaux. Là, semble-t-il, le nombre des espèces et des individus augmente en proportion de leur degré de développement. Les phanérogames ont beaucoup plus de représentants que les cryptogames, les dicotylédonées sont plus nombreux que les monocotylédonées, et dans ces deux grandes divisions des plantes à floraison visible, ce sont les familles les plus élevées, les graminées et les composées, qui sont aussi les plus riches[1].

Si les multitudes d'espèces qui constituent l'ensemble de la faune planétaire ne le cèdent point à celles de la flore, la foule des individus est également innombrable; elle ne saurait pas plus s'imaginer que celle des herbes et des végétaux de toute sorte qui revêtent la surface de la terre. Il est vrai que, par suite de leur indépendance relative, les animaux sont beaucoup moins visibles dans la nature; tandis que la végétation forme un tapis continu sur la terre, et que le vert des arbres ou du gazon nous apparaît comme la couleur normale de la surface du globe, les animaux, cachés sous la verdure ou dans les trous du sol, semblent être parfois complétement absents du paysage. En revanche, les végétaux, ayant besoin d'un sol nourricier qui les porte, ne s'étendent qu'en surface, tandis que nombre d'animaux peuvent, grâce

1. Schleiden, *das Meer*, p. 165.

à la liberté de leurs mouvements, s'accumuler en énormes amas sur le sol, ou bien tourbillonner en nuages dans le ciel, ou bien encore s'agiter par myriades dans les profondeurs de la mer. L'atmosphère et l'Océan, non moins que la surface terrestre, sont le domaine de la vie animale. Naguère encore, les *guanaes* du Pérou, ces oiseaux qui déposent des montagnes d'excréments sur les îles du littoral, étaient si nombreux qu'ils formaient de véritables bancs aériens embarrassant les manœuvres des navires; quand ces masses vivantes s'élevaient en nuages, on n'en voyait ni le commencement ni la fin[1]. C'est par millions que l'on essayait de compter les pigeons voyageurs des États-Unis, dont les bandes, traversant le ciel avec une vitesse de 80 kilomètres à l'heure, mettaient trois jours à défiler; c'est par milliards qu'il faut évaluer les cancrelats de l'île Saint-Paul, les mouches de l'île de Pâques et d'autres terres océaniennes, ou bien les sauterelles qui s'abattent sur les provinces de l'Orient et les recouvrent en masses noirâtres, brillant au soleil comme une sorte de cuirasse; enfin tout calcul devient impossible, et l'imagination même est impuissante quand il s'agit des nuées de moucherons qui, au nombre d'au moins un million par mètre cube[2], obscurcissent l'atmosphère sur les marécages de la Louisiane, de l'Amazone, de la Colombie, et sur les grands lacs de l'Amérique du Nord. Quant aux organismes innombrables qui pullulent dans l'Océan, ils le changent en une masse animée. Il y a donc pondération, pour ainsi dire, entre les deux forces en lutte pour la possession de la terre, entre la flore et la faune, le monde végétal et celui qui s'en nourrit.

Même dans les profondeurs ténébreuses des grottes, la vie se montre encore. Les plantes d'un ordre supérieur ne pouvant se passer de lumière, on ne trouve au fond des cavernes que des champignons qui restent souvent à l'état de cellules vaguement organisées. La faune, plus indépendante de la lumière que ne l'est la flore, a dans les cavernes un bien plus

1. Ulloa, Boussingault.
2. Humboldt; — Chandless, *Journal of the Geog. Society*, 1869, p. 299.

grand nombre de représentants. Non-seulement ces espaces souterrains servent de lieu de refuge à divers oiseaux et de tanières à plusieurs espèces de bêtes de proie, renards, blaireaux, hyènes, qui viennent y porter le produit de leur chasse, comme le faisaient jadis nos ancêtres les troglodytes, ils sont habités aussi par diverses familles d'animaux qui ne sortent de la profondeur des grottes que par exception ou par suite d'accidents. Dans le nombre se trouve au moins un mammifère, espèce de chauve-souris (*miniopterus Schreibersii*) qu'on a découverte dans les cavernes de l'Istrie, des Apennins, des montagnes d'Alger. Les lacs et ruisseaux souterrains de l'Europe centrale offrent également plusieurs variétés d'un étrange reptile, l'*hypochthon* ou *protée*, dont les yeux, inutiles dans ces ténèbres, sont presque complétement atrophiés. Les insectes sont la classe la mieux représentée dans ces régions souterraines; mais aucun d'entre eux n'offre les vives couleurs que la lumière du soleil a données à la plupart de leurs congénères; tous ont une robe terne se confondant avec les sombres nuances du rocher. Parmi ces insectes, les plus curieux sont une espèce de mouche (*phora maculata*), qui ne se sert jamais de ses ailes, et divers coléoptères (*anophthalmus*), chez lesquels les yeux manquent complétement; puis viennent des arachnides, des centipèdes, des crustacés, des mollusques. M. Schiner, qui a fait une étude spéciale de la faune des grottes, énumère vingt-trois espèces d'animaux habitant les seules cavernes des environs de Trieste; mais ce n'est là, sans aucun doute, qu'une très-faible proportion des tribus souterraines qui vivent dans les cavernes du monde entier. On dit que les grottes du Kentucky renferment aussi des écrevisses aveugles, des rats blanchâtres d'une très-forte taille, des lézards tristement égarés dans ce monde de ténèbres, enfin des espèces de grillons jaunes qui se traînent comme des crapauds en se dirigeant au moyen d'énormes antennes.

II.

La faune océanique.

Les poëtes d'autrefois se plaisaient, d'après Homère, à donner à la mer l'épithète « d'infertile, » et cependant rien n'égale son exubérante fécondité. Bien plus que la terre, dont la superficie seule est richement peuplée, l'Océan est le domaine de la vie; non-seulement les nappes supérieures, mais aussi les couches profondes sont remplies d'organismes de toute espèce; en certains parages, les myriades et les myriades d'êtres se pressent en si prodigieuses multitudes, que les eaux elles-mêmes en sont, pour ainsi dire, devenues vivantes. Peut-être est-il aussi dans les vastes étendues liquides quelques déserts presque complétement privés de faune et de flore[1]; mais ce seraient là des exceptions, et, dans la plupart des régions de la mer, chaque goutte d'eau est un monde par la multitude des êtres qui l'habitent. Pris dans son ensemble, l'Océan peut même être considéré comme le milieu vital par excellence. C'est dans les eaux, pullulant d'animalcules, que les assises continentales se sont graduellement formées par le dépôt de restes organiques, et que de nouvelles générations, sans cesse à l'œuvre, jettent les fondements de continents futurs. C'est aussi dans la mer, nous disent les paléontologistes, qu'auraient pris naissance les espèces primitives desquelles sont descendues toutes les formes actuelles, océaniques et terrestres. Le grand bassin des mers est le berceau de la vie. « L'eau est le commencement de toutes choses, » avait déjà dit Thalès de Milet, il y a 2500 ans[2].

Depuis longtemps, Humboldt a fait remarquer que l'Océan est, par contraste avec les terres émergées, le principal milieu

1. Marcou, *les Roches du Jura*.
2. Schleiden, *das Meer*, p. 124.

des organismes animaux, tandis que les continents sont le domaine par excellence de la vie végétale. En effet, les eaux de la mer doivent souvent leur couleur et leur éclat phosphorescent aux animalcules sans nombre qui s'y développent en prodigieuses agglomérations; sur d'immenses étendues, le fond de l'Océan est une poussière animée, dont chaque centimètre cube renferme des millions d'êtres vivants. De son côté, la terre, si ce n'est en de rares déserts dépourvus d'eau, est naturellement recouverte d'un tapis de verdure, herbes, grands arbres et parasites innombrables. Les forêts de polypiers de la mer du Sud, les polythalames qui tombent en neige de la surface de l'eau au fond de l'Atlantique, les bancs de harengs et de *strömlings*, où les poissons sont aussi pressés que le gazon des prairies, trouvent leur contraste dans les mers de feuillage des plaines de l'Amazone, dans les savanes ondoyantes qui se déroulent à perte de vue, et même dans les champs cultivés que bariolent tant de plantes diverses.

Le contraste de la terre et des mers se manifeste également par les dimensions respectives des représentants les plus colossaux de la faune et de la flore dans les deux milieux différents. L'Océan, si riche en organismes infiniment petits, possède aussi, parmi ses animaux, des monstres bien autrement grands que ceux des terres émergées, tandis que la plupart de ses végétaux, et même ces prodigieux fucus de plusieurs centaines de mètres de long, ne sont que de simples lanières et n'offrent ni racines, ni troncs, ni branches, qui puissent les faire comparer au chêne, au baobab, au châtaignier. Quant à leur organisation, elle est des plus rudimentaires. A l'exception d'un seul genre de phanérogames, les algues marines sont toutes des plantes inférieures, sans fructification apparente. Les plantes pélasgiennes n'ont ni calice, ni corolle, ni étamines, ni pistils; en revanche, beaucoup d'animaux sont organisés comme des fleurs[1]. Les premiers naturalistes ont pu s'y tromper. Longtemps les plus savants d'entre eux, et Réaumur lui-même, ont vu dans les polypes de véri-

1. Schleiden, *la Plante*.

tables plantes, et de nos jours nombre de chercheurs se sont demandé si les algues n'étaient pas aussi comme les ramures des coraux, des sortes d'édifices de forme végétale bâtis par d'innombrables animalcules associés. En tout cas, il est certain que les granules génératrices des algues se meuvent exactement comme des animalcules et, semble-t-il, comme par « un acte de leur propre volonté; » elles vont, viennent, s'élancent vers la lumière, et ne se fixent qu'après avoir trouvé l'endroit qui leur convient pour bâtir leurs cellules. C'est là une preuve de plus que la division entre les deux séries, végétale et animale, est en grande partie artificielle [1].

Dans leur amour du merveilleux, et peut-être aussi à cause de l'effroi que leur avait causé la vue des monstres de la mer, nos ancêtres donnaient à ces animaux gigantesques une taille hors de toute proportion avec leurs dimensions véritables. Nombreuses sont les légendes qui parlent de baleines sur lesquelles on débarquait comme sur des îles, puis qui plongeaient tout à coup et laissaient leurs visiteurs se débattre dans les flots. Les marins de toutes les nations racontent aussi des multitudes d'histoires au sujet de serpents monstrueux qui dérouleraient leurs anneaux sur plusieurs grandes vagues successives, et de poulpes dont les bras sans cesse en mouvement ressembleraient à une forêt agitée des tempêtes. Les observations faites par les naturalistes ne confirment point ces récits; mais il est certain qu'on a mesuré des baleines de plus de 30 mètres de longueur et de 20 mètres de circonférence, pesant près de 200 tonnes, c'est-à-dire plus qu'une armée de 3,000 hommes. Scoresby a vu un rorqual plus énorme encore, qui n'avait pas moins de 36 mètres de la tête à la queue. Quant aux monstres de la taille de l'hippopotame ou de l'éléphant, dauphins, épaulards, cachalots, morses, requins, les espèces en sont nombreuses, et souvent c'est par centaines et par milliers que l'on rencontre les individus de cette dimension groupés dans un espace restreint. Parmi les animaux marins d'un ordre inférieur, tels que les céphalopodes, il en est aussi d'une

1. Unger, de Mirbel, Paul Laurent, Payen.

grandeur prodigieuse : ainsi, dans la baie de Massachusetts, on a pêché des *cyanea arctica* de 2 mètres d'épaisseur et dont les bras n'avaient pas moins de 34 mètres de long[1]. Et certes, on peut affirmer d'avance que l'Océan tient encore en réserve bien des surprises aux naturalistes qui en exploreront tous les abîmes.

Toutefois, si la mer doit être considérée comme le principal théâtre de la vie animale, ce n'est point tant à cause de la taille et de la force de ses monstres que par la prodigieuse multitude des êtres qui s'y agglomèrent en traînées, s'y entassent en bancs, y pullulent en couches immenses. Il est facile de s'imaginer de quelles armées innombrables de poissons doit s'emplir l'Océan, puisque dans plusieurs espèces une seule femelle peut contenir cent mille, un million, ou même plus de 10 millions d'œufs. A la deuxième génération, un seul couple de ces poissons peut avoir donné naissance à 100 trillions d'individus; à la troisième génération, la mer tout entière, avec ses gouffres insondables, serait comblée par une masse compacte de chair vivante. Mais, avant même d'être nées, ces progénitures sans nombre sont poursuivies par des ennemis également innombrables. La mer n'est qu'un immense champ de carnage, où les êtres, naissant par myriades infinies, servent aussitôt de pâture à des millions et à des milliards de mangeurs acharnés. Quand les harengs pénètrent dans la mer du Nord, « il semble qu'une île immense se soit soulevée, et qu'un continent soit près d'émerger[1]; » mais cette île, ce continent de poissons, est assiégé, mangé de toutes parts. Chaque détachement de la puissante armée, long d'une trentaine de kilomètres et large de 5 à 6, est accompagné par des légions de cétacés et d'autres grands animaux marins, qui se pressent en bandes autour des colonnes serrées, et ne cessent d'engloutir les harengs par centaines; des oiseaux, volant par nuées au-dessus de la scène de l'immense tuerie, plongent de tous les côtés pour choisir leurs victimes; une substance hui-

1. Elizabeth and Alexander Agassiz, *Sea-Side Studies*.
2. Michelet, *la Mer*.

leuse, provenant de la bile des millions de poissons déchirés, nage à la surface de la mer[1]. Enfin, quand les marins, avertis de l'approche du banc de harengs, se précipitent à la curée, le massacre prend des proportions effroyables. Les pêcheurs du seul district du Göteborg tuent jusqu'à 150 millions de harengs dans une seule campagne; ceux de Bergen, 300 millions; ceux d'Yarmouth, bien plus encore. C'est par milliards qu'il faut compter le nombre de harengs que les marins du nord de l'Europe détruisent pendant la pêche.

Il est certains parages de l'Océan où les poissons sont encore plus nombreux que sur les côtes de l'Europe occidentale; tel est, par exemple, le banc de Terre-Neuve, où, par suite de la rencontre de deux courants maritimes, différents par la température et par les débris qu'ils apportent, toutes les conditions favorables au développement d'une grande diversité d'espèces se trouvent réunies. C'est dans les mers voisines que l'Eskimau, dont le nom signifie « mangeur de poisson cru, » trouve sa nourriture en abondance; c'est là que les pêcheurs, anglais, français, américains, vont chaque année chercher leur provision de 2 à 3 millions de morues, laissée par les multitudes de cétacés toujours à l'œuvre. Dans le Pacifique du nord, sur les côtes du Japon, autour des Canaries, sont d'autres régions de pêche, à peine moins riches, d'où le filet ramène chaque fois à coup sûr de nombreuses victimes.

Quant aux animaux de mer autres que les poissons, nombre d'espèces pullulent en masses d'autant plus compactes que les individus eux-mêmes sont plus petits. Du haut des promontoires qui dominent à pic les golfes de la Nouvelle-Grenade, à l'est de Santa-Marta, on voit parfois la mer emplie jusqu'à l'horizon de méduses jaunes, assez pressées les unes contre les autres pour que la couleur des eaux en soit toute changée. Un peuple de méduses, au milieu duquel Piazzi Smyth passa en juillet 1856, au nord des Canaries, occupait un espace d'environ 60 kilomètres de largeur et comprenait au moins, dans la seule couche superficielle, 255 millions d'individus.

1 Alfred Frédol, *le Monde de la mer.*

Des baleines et d'autres cétacés dévoraient d'énormes quantités de ces gracieuses méduses, aux veines orangées, et, de leur côté, chacun de ces animaux absorbait des myriades de diatomées siliceuses. La quantité de ces organismes inférieurs contenus dans l'estomac de chaque méduse s'élevant certainement à sept cent mille, c'est donc par milliards et par milliards de milliards qu'il faut compter les êtres pullulant dans chaque vague[1]. Les marins, accoutumés à voir les innombrables multitudes des méduses, n'y voient que la « crasse de la mer; » et Bacon lui-même, le grand observateur, pensait que ces gelées marines n'étaient autre chose que de « l'écume échauffée. » Plus poétiques, les Péruviens de la côte d'Iquique donnent à l'un de ces animaux le nom gracieux d'*aqua viva* ou « d'eau vivante[2]. »

Quelquefois la mer est tellement remplie d'organismes de vie, qu'on peut la dire animée, saturée, et la couleur en est entièrement changée par des multitudes flottantes. Ainsi, sur les côtes du Groenland, les marins traversent des bandes liquides d'un brun foncé ou d'un vert d'olive, occupant fréquemment 300 et même 400 kilomètres de longueur : ce sont des colliers de diatomées siliceuses ayant en moyenne un sixième de millimètre de diamètre. Ces colliers, renfermés par centaines dans chaque centimètre cube d'eau, sont engloutis par centaines de milliers à chaque bouchée d'une baleine. Dans l'espace compris entre le 74e et le 80e degré de latitude, ces bancs, dont la limite est quelquefois parfaitement tranchée comme si elle avait été tirée au cordeau, occupent, d'après Scoresby, environ un quart de la superficie marine. Ils sont assez nombreux pour être chaque année un des agents les plus importants dans le phénomène de la fusion des glaces à la surface inférieure desquelles ils sont attachés[3]. Ailleurs, ce sont d'immenses « serpents de mer, » formés par d'innombrables salpas qui s'attachent les uns aux autres comme les

1. Piazzi Smyth, *Teneriffe,* pages 5 et 6.

2. Bollaert, *Antiquities,* p. 256.

3. Voir ci-dessus, p. 46; — Robert Brown, *Mittheilungen von Petermann,* I, 1869.

molécules d'un même corps; ou bien, des étendues sans bornes visibles, les unes rouges de sang, les autres blanches de lait. Là, ce ne sont pas des bancs d'animaux que traversent les navigateurs, ce sont des mondes, où chaque goutte d'eau renferme autant d'êtres qu'il y a d'étoiles dans la voie lactée. En août 1854, le capitaine Kingman traversa dans l'océan Indien un espace de plus de 40 kilomètres de largeur, dont la blancheur était assez éclatante pour éteindre la lumière des astres; quand la mer d'animalcules fut dépassée, on vit longtemps encore le ciel briller au-dessus comme des lueurs d'une faible aurore boréale. Dix ans après, le navire *la Sarthe* retrouvait, dans les mêmes parages, une vaste « mer de lait, » où le sillage de la quille se dessinait en noir. Près de Luçon, Freycinet avait traversé une nappe d'eau complétement rouge, dont chaque millimètre cube renfermait 40 millions d'algues microscopiques.

Du reste, le plus étonnant témoignage de la foule innombrable des organismes qui pullulent dans l'Océan n'est-il pas la merveilleuse phosphorescence des eaux due, pour une très-forte part, aux animalcules vivants? Il n'est pas de voyageur qui, durant les nuits, n'ait observé ces nappes de lumière jaune ou verdâtre qui frémissent sur la mer, ces fusées d'éclairs qui jaillissent de la crête des vagues, ces tourbillons d'étincelles que le taille-mer des vaisseaux soulève en plongeant, ces ondes flamboyantes qui glissent des deux côtés du navire, pour s'unir en longs remous derrière le gouvernail et transformer le sillage en un fleuve de feu. Dans le port de la Havane, le moindre objet qui agite la surface de l'eau apparaît soudain comme un trait de flamme, et soulève autour de lui toute une série de vaguelettes lumineuses, se propageant en cercles concentriques jusqu'à plusieurs mètres de distance; les embarcations qui voguent sur les eaux, poussées par le mouvement égal des rames, laissent derrière elles la trace d'un immense dragon de feu aux larges pattes étalées. Dans le golfe Persique, nous dit Palgrave, les flots sont tellement lumineux pendant les nuits, que les Arabes attribuent ces reflets aux feux de l'enfer brillant à travers les rochers du fond et la masse trans-

parente des eaux[1]. La science moderne nous explique autrement le phénomène de la phosphorescence : ainsi que l'ont établi les recherches de Boyle, de Forster, de Tilesius, d'Ehrenberg, cette lumière provient d'innombrables animalcules, les uns vivants, les autres en décomposition.

Les petits organismes appelés foraminifères, à cause des trous nombreux de leurs étuis, sont probablement les êtres qui peuplent en plus grandes multitudes les étendues de l'Océan;

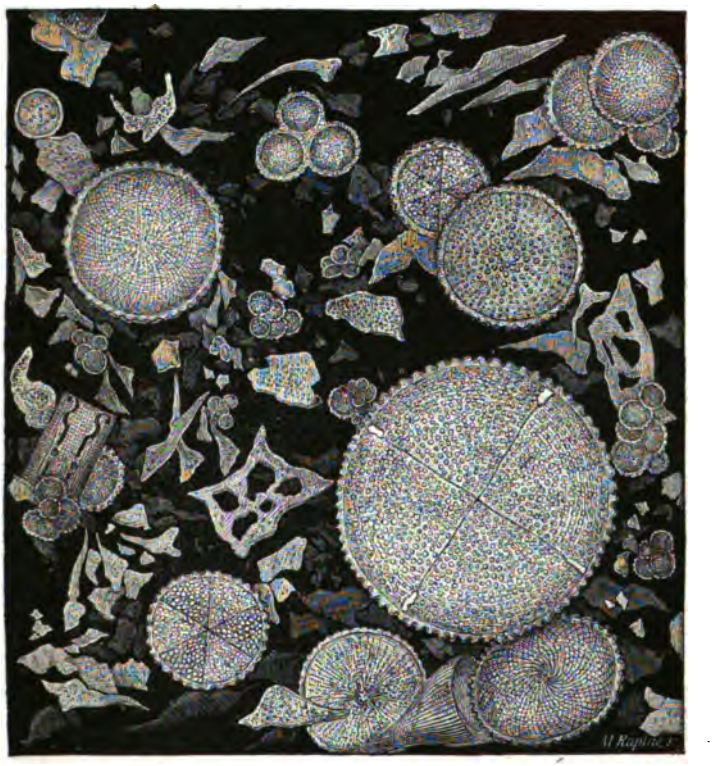


Fig. 175. — Fond de la mer.

le fond de toutes les mers, sans exception, est parsemé de leurs minces enveloppes calcaires, dont un gramme de sable contient parfois près de 8,000, suivant un calcul de M. d'Orbigny. Parmi les divers genres de cette famille, comprenant environ 2,000 espèces connues, les globigérines, animalcules

1. *Journal of the Geographical Society*, 1864.

à la coquille ovoïde ou sphérique, peuvent être considérés comme le genre océanique par excellence, puisqu'on les rencontre sous toutes les latitudes et à des profondeurs variant de 100 à 6,000 mètres. Leurs débris recouvrent, au fond de l'Océan, des milliers de kilomètres carrés de superficie, et, quand la sonde rapporte des échantillons du sol sous-marin, il se trouve souvent qu'il est composé de 75, de 80, ou même de 97 pour 100 des squelettes d'une seule espèce de globigérine[1]. Le reste du sédiment est formé d'autres débris de petits organismes, de spicules d'éponges et d'épines d'étoiles de mer. Ailleurs, ce sont des organismes siliceux, les diatomées, qui contribuent le plus à hausser les fonds marins. Ces corps, d'une parfaite régularité, disques et triangles, parallélogrammes, pyramides et autres figures géométriques, toutes si gracieusement ornées des plus fines arabesques, appartiennent-ils au monde végétal? Le botaniste Schleiden aime à le croire. Sont-ils plutôt des animaux? Le zoologiste Ehrenberg l'affirme. Mais qu'ils soient plantes ou bestioles, ils n'en sont pas moins l'un des agents les plus importants dans la formation continue de notre globe[2].

III.

Influence du climat et des conditions physiques sur les espèces animales.

Les animaux, comme les plantes, dépendent de toutes les conditions du climat; la chaleur et le froid, la lumière et les ténèbres, la sécheresse et l'humidité, les influencent diversement et leur donnent une aire d'habitation nettement limitée. Toutefois un grand nombre d'espèces animales ont un privi-

1. Wallich, *North Atlantic Sea-bed;* — Parker and Jones, *Phil. Trans.*, vol. CLV, part. I, 1865.

2. Voir, ci-dessous, p. 576 et suiv.

lége sur les végétaux : tandis que ceux-ci ne peuvent fuir spontanément devant un climat contraire, et que le déplacement de leur race met des siècles à s'accomplir; les animaux, doués de locomotion, peuvent individuellement changer de milieu pour retrouver la température qui leur convient. Des centaines d'espèces d'oiseaux, des poissons, de nombreuses tribus d'insectes, émigrent chaque année et peuvent ainsi, grâce aux deux patries qu'ils habitent tour à tour, jouir de toutes les conditions de chaleur, de lumière et d'humidité favorables à leur bien-être. Il est des oiseaux voyageurs qui se déplacent en quelques jours de plusieurs milliers de kilomètres et se rendent d'un continent à l'autre par-dessus de larges mers. Ainsi, au commencement de septembre, la cigogne, craignant les froids rigoureux du nord de l'Allemagne, abandonne l'angle blanchi du toit de chaume pour aller percher sur une coupole de l'Égypte ou de la Tunisie; puis, au mois de mars, quand le climat africain devient pour elle trop sec et trop brûlant, elle reprend son vol pour franchir la Méditerranée, et, contournant les grandes Alpes, soit à l'est par l'Engadine, soit à l'ouest par les portes du Jura, va s'abattre de nouveau sur son nid, respecté du paysan.

Sous le climat de l'Europe tempérée, près d'une centaine d'oiseaux, parmi lesquels la grue, l'alouette, la palombe, la caille, l'hirondelle, voyagent ainsi alternativement du nord au sud et du sud au nord pour éviter les températures extrêmes, et peut-être plus encore pour trouver une nourriture abondante dans toutes les saisons de l'année; il est possible même que certaines espèces traversent l'équateur pendant les migrations, et par ce va-et-vient jouissent constamment d'une température estivale, tantôt dans l'une, tantôt dans l'autre moitié du monde. Plusieurs espèces de mammifères voyagent aussi, et récemment encore, lorsque les vastes prairies de l'Amérique du Nord étaient librement traversées par de grandes populations animales, les pionniers pouvaient assister chaque année aux migrations immenses des bisons, des campagnols, des rats musqués, défilant en multitudes innombrables. Dans les pays montueux, les animaux peuvent d'ailleurs facilement changer

de climat sans parcourir de vastes étendues; il leur suffit pour cela de gravir les montagnes, puis de redescendre dans la plaine. Des singes de l'Hindoustan se réfugient pendant l'été dans les hautes vallées de l'Himalaya, jusqu'à 3,000 mètres de hauteur, et reviennent dans les forêts basses du Teraï à l'entrée de l'hiver; de même les rennes de la Laponie suivent les neiges, qui tantôt s'élèvent et tantôt s'abaissent sur le versant des monts.

Pour éviter les extrêmes de température, soit les froids de l'hiver, soit les trop grandes chaleurs de l'été, certaines espèces animales ont aussi la ressource de s'enfouir dans le sol. La plupart des insectes passent leur existence de larve sous l'écorce des arbres, sous les tas de feuilles ou sous les couches superficielles de la terre. Des espèces de mollusques, des poissons, plusieurs reptiles et quelques mammifères se cachent aussi dans le limon des lacs et des marais ou dans les terriers creusés à l'avance. Ainsi protégés contre le climat du dehors, les animaux tombent dans un état d'engourdissement ou de sommeil pendant lequel leur vie reste partiellement suspendue : la température de leur corps s'abaisse parfois jusqu'au point de glace, et l'on a même vu des poissons se geler complétement, sans que la mort apparente les ait empêchés de ressusciter plus tard; la respiration et la circulation du sang sont graduellement ralenties, la digestion cesse tout à fait; les organes, devenus temporairement inutiles, se rétrécissent; les parasites intestinaux s'engourdissent eux-mêmes avec les animaux aux dépens desquels ils vivent. Du reste, cette longue période de sommeil est un phénomène qui se retrouve d'une manière encore bien plus générale dans le monde des végétaux. En effet, toutes les plantes des zones polaires et tempérées se reposent en hiver et ne vivent plus que par leurs tiges et leurs racines; même dans les pays chauds, les espèces végétales offrent une remarquable périodicité dans leur existence[1].

Quoique le privilége de la locomotion permette à nombre d'animaux d'agrandir considérablement leur domaine, les

1. Voir ci-dessus, p. 495.

espèces n'en restent pas moins soumises aux conditions du climat, et toutes ont une aire d'habitation limitée, soit vers le pôle par les rigueurs du froid, soit vers la ligne équinoxiale par la trop grande chaleur. Chaque climat a sa faune particulière, qui demande pour vivre et se propager facilement certaines conditions normales de température et d'humidité. Il est des animaux qui ne peuvent quitter la zone torride sans périr ou sans vivre d'une vie artificielle comme la plupart des bêtes transportées à grands frais dans nos jardins zoologiques; d'autres espèces meurent quand on les arrache aux terres boréales, couvertes de glaces pendant la plus grande partie de l'année. Le campagnol que M. Martins a vu sur le Faulhorn, et certains animalcules, tels que le *desoria nivalis* et le *podura hiemalis*, ont les neiges ou le sol qu'elles recouvrent pour aire d'habitation. En revanche, quelques rotifères habitent exclusivement les eaux thermales; un scarabée, l'*hydrobius orbicularis*, vit dans les sources d'Hammam-Meskoutine, dont la température est de 55 degrés. Dans les mers, la baleine franche et divers animaux de la famille des cétacés sont arrêtés par les eaux chaudes des latitudes tropicales comme par une barrière de flamme, tandis que le cachalot et le lamantin nagent seulement dans les flots tièdes de l'océan équatorial[1]. De même les coraux constructeurs ne se montrent que dans les mers dont la température est supérieure à 22 degrés centigrades; à 17 degrés et demi, ils pourraient encore vivre, mais sans développer leurs branches et leurs rameaux. Le Gulf-stream, qui porte dans la mer boréale les eaux chaudes des Antilles et des Bahama, entraîne aussi des multitudes d'espèces méridionales qui ne s'égarent point à droite ou à gauche dans les ondes plus froides du courant polaire : les deux masses d'eau qui roulent parallèlement l'une à l'autre, mais en sens inverse, ont chacune leur faune distincte, dont la barrière de séparation est une ligne idéale entre deux zones de températures diverses, variant suivant les saisons et la marche des eaux. Quant aux animaux supérieurs que l'homme mène à sa suite dans presque

1. Maury, *Géographie de la mer*.

toutes les contrées de la terre, ils se modifient considérablement sous l'influence du climat : dans les montagnes de l'Himalaya, les chevaux et les chiens importés d'Angleterre se revêtent d'une laine épaisse qui pousse entre leurs poils; au contraire, dans l'Afrique équatoriale, les chiens et les moutons deviennent chauves, et les poules perdent toutes leurs plumes, à l'exception des grosses plumes de l'aile[1]. Dans les îles Falkland, les chevaux lâchés au siècle dernier par Bougainville sont devenus plus petits, tandis que les bœufs ont grandi. En même temps, des variétés spéciales de robes se sont produites en diverses régions de l'archipel; en certains endroits, les bestiaux ont tous le pelage clair; ailleurs, ils sont tous foncés ou noirs[2].

L'influence de la lumière s'accuse aussi d'une manière très-remarquable par l'atrophie ou même par la suppression complète des organes de la vision chez les poissons et autres animaux qui habitent les profondeurs des cavernes[3]. La couleur de la robe change aussi dans la plupart des espèces animales, suivant l'éclat des rayons qui les éclairent. La faune des grottes a pris une livrée terne et uniforme qui se confond avec les ténèbres environnantes, tandis qu'au dehors, sous la splendeur de la lumière, volent les papillons et les oiseaux, fleurs ailées non moins brillantes que celles de la prairie. Les animaux des tropiques, surtout les insectes, les poissons, les reptiles, resplendissent de couleurs beaucoup plus vives que celles des animaux congénères de la zone tempérée et de la zone glaciale : ainsi que le dit M. Radau, « le soleil se peint dans la faune d'une contrée. » Enfin, chez le même individu, l'action de la lumière se manifeste par le contraste des couleurs, éclatantes sur le dos ou sur la surface supérieure des ailes, plus ternes sur le ventre ou le dessous du plumage resté à l'ombre. Le genre de vie de la plupart des espèces est également réglé par les alternatives de la lumière : mammifères, oiseaux, reptiles, poissons, insectes, mollusques ont leur

1. Schmarda, *Geographische Verbreitung der Thiere, Jahrbuch von Behm.*
2. Ch. Darwin, *Adventure and Beagle.*
3. Voir, ci-dessus, p. 41.

période d'activité journalière nettement limitée, soit par le coucher, soit par le lever du soleil, ou par les diverses positions de l'astre sur la rondeur céleste. Parmi les insectes surtout, le réveil de chaque espèce de jour, de nuit ou de crépuscule s'accomplit avec une singulière régularité. Les moustiques de certaines régions tropicales se succèdent dans l'air à une heure fixe, bien connue par les indigènes, et ceux-ci pourraient, en emprisonnant les insectes qui les persécutent, arriver à mesurer le temps non moins facilement que par cette ingénieuse « horloge de Flore », où chaque heure est marquée par l'épanouissement d'une corolle.

Tous les animaux, qu'ils habitent la mer ou les continents, ont également besoin d'air pour vivre; mais, suivant les espèces, cet air doit être plus ou moins pur, plus ou moins chargé d'humidité. Un grand nombre d'oiseaux, habitués à planer dans l'espace, périssent rapidement au milieu d'une atmosphère corrompue, et leurs œufs mêmes ne peuvent y germer; les vers intestinaux, au contraire, et les innombrables espèces animales qui se nourrissent de matières en décomposition, et font ainsi l'office de nettoyeurs dans la nature, s'accommodent fort bien d'un air mélangé de gaz impurs. Enfin les poissons et autres animaux aquatiques, à l'exception des cétacés et des oiseaux nageurs, respirent directement l'oxygène en dissolution dans l'eau. Quant à l'humidité, elle est également indispensable à la vie; mais tandis que certaines espèces se développent au bord des marais ou des fleuves, dans une atmosphère chargée de vapeur, il en est d'autres, notamment de nombreuses tribus de lézards, qui se plaisent sur la roche ou l'argile des contrées privées de pluie. Aux États-Unis, la faune des déserts de l'ouest se compose de reptiles.

La composition chimique des eaux est décisive pour les organismes qui s'y meuvent, et la faune varie beaucoup dans les lacs, les fleuves et les mers, suivant leur teneur en sels et en autres substances : c'est ainsi que la Baltique, dont la salure est à l'entrée celle de l'Océan lui-même, et qui, dans ses golfes supérieurs, renferme de l'eau presque complétement douce, offre des deux côtés deux faunes bien distinctes, se modifiant

par transitions graduelles vers la partie centrale. Quant à la nature minéralogique du sol, elle a probablement sur la vie animale une influence assez minime, et les modifications que présentent les faunes sur les divers terrains doivent être attribuées principalement à la différence des plantes qui servent de nourriture aux animaux. Ainsi quelques coquillages terrestres se montrent presque exclusivement sur les formations calcaires, parce qu'ils ne trouveraient point dans la végétation des autres contrées les substances nécessaires à la construction de leurs étuis. Les conditions physiques du sol ont aussi une très-grande importance pour les espèces qui se creusent des cachettes ou des allées souterraines : la taupe ne saurait tracer ses merveilleux labyrinthes dans une terre sablonneuse qui s'écroulerait derrière elle; le fourmi-lion, qui guette sa proie dans une fosse circulaire au pied des talus de sable mobile, périrait de faim s'il s'aventurait sur un sol argileux.

Chose étrange : la couleur même du milieu dans lequel les espèces passent leur existence semble s'être imposée à beaucoup d'animaux par une sorte d'harmonie secrète. Tel colibri, qui se précipite avec volupté dans la fleur épanouie, brille lui-même comme une fleur; nombre de poissons qui vivent dans les rivières à fond sablonneux sembleraient n'être que des couches minces de sable pailleté; à côté de telle *mantis* brune de l'Afrique méridionale, qui vit seulement sur un sol de couleur foncée, une autre, tout à fait blanche, ne se montre que sur les éclatantes roches calcaires; le *ptarmigan* d'Écosse est blanc comme la neige en hiver, et l'été, il se revêt de plumes dont la nuance d'un gris de perle se marie avec les teintes délicates des lichens et des bruyères. Les feuilles vertes de nos forêts ont pour habitants la reinette et d'autres espèces qui se confondent avec la verdure, tandis qu'un papillon, feuille morte lui-même, se joue dans l'air parmi les feuilles mortes qu'éparpille le vent; un orthoptère semble même s'être déguisé sous la forme d'une branchille de hêtre brisée; c'est, dirait-on, un de ces innombrables débris que la tempête fait tomber de l'arbre. Sur le fleuve des Amazones, l'air s'emplit, en certaines saisons, d'une espèce de papillons blancs, volant par

myriades comme les flocons de neige pendant une tourmente; mais parmi ces papillons se mêlent aussitôt des individus d'espèces ordinairement distinctes par la couleur et que M. Bates croit s'être déguisées en blanc pour se perdre dans l'immense foule[1]. Dans la Malaisie, il en est qui pour mieux ressembler à des feuilles ont sur les ailes comme des brins de mousse[2]. Ce remarquable phénomène d'assimilation qui constitue le seul moyen de défense de l'oiseau-mouche, du faible insecte, du parasite impuissant, comment peut-on chercher à l'expliquer si ce n'est par l'hypothèse de la « sélection naturelle, » que Darwin a récemment exposée avec tant de lucidité? Dans l'incessante bataille de la vie, datant de l'origine même des espèces, tous les individus qui ne peuvent se défendre par la force, la ruse, l'odeur ou le venin, périssent inévitablement; ceux-là seuls ont chance d'échapper qui, par leur forme et leur couleur, ne se distinguent pas du milieu environnant. Ce sont eux qui, par la disparition graduelle des individus visibles aux animaux de proie, perpétuent la race, et, dans la succession des progénitures, ce sont encore les variétés les plus ressemblantes au sol ou aux plantes nourricières qui sauvent l'espèce de la destruction : ainsi, de génération en génération, les anomalies ne cessent de se préciser, et prennent à la longue un caractère permanent.

IV.

Nourriture des espèces animales. — Contraste des faunes. — Aires d'habitation. — — Changements dans la surface des aires. — Naissance et disparition des espèces.

De toutes les circonstances de milieu, celle qui influe le plus sur les espèces, on le comprend sans peine, c'est leur nourriture. Dans la mer, où la flore est relativement pauvre,

1. *Naturalist on the river Amazons.*
2. Alfred Wallace, *Malay Archipelago,* Ier vol., p. 205.

et où la faune s'est au contraire développée avec une si merveilleuse abondance, animaux et animalcules sont presque tous carnivores; les herbivores sont peu nombreux. Sur la terre ferme, au contraire, la végétation prédomine si largement que la plupart des bêtes ou bestioles vivent aux dépens des plantes, de leurs pousses, de leurs feuilles, fleurs ou fruits, de leur tige, de leur écorce ou de leurs racines. Les plus grands animaux, l'éléphant, le rhinocéros, la gazelle, comme jadis le mammouth, le mastodonte et l'élan, se nourrissent d'herbe, de graminées et de feuilles. La plupart des oiseaux vivent de graines, et, chez nombre de leurs espèces, c'est au besoin de trouver la nourriture, et non aux alternatives du froid et de la chaleur, qu'il faut attribuer leurs migrations annuelles ou quotidiennes. La vie de la plupart des animaux n'est qu'un long voyage. Poussés tantôt par la faim, tantôt par le besoin de se mettre en sûreté, ils vont et viennent incessamment d'une région à l'autre, des forêts aux prairies, des montagnes à la plaine, des solitudes aux cultures. Dans la vallée du bas Mississipi existe une espèce d'hirondelle connue sous le nom de martinet, qui, tous les matins, vole en immenses tribus vers les forêts de pins de la rive gauche du fleuve et qui, tous les soirs, revient comme un nuage s'abattre dans les cyprières marécageuses de la rive droite.

C'est principalement parmi les insectes que se montre l'intime rapport unissant le monde animal à la végétation. Beaucoup de plantes ont leur faune spéciale d'insectes, et, dans cette multitude avide qui les ronge, les uns s'attaquent seulement aux feuilles, les autres au bois ou à diverses parties du végétal. L'ortie n'a pas moins de 40 espèces parasites, qui naissent, vivent et meurent sur sa tige. Le bouleau, le saule, le peuplier, sont aussi chacun la patrie exclusive de nombreuses tribus d'insectes; le chêne, à lui seul, en nourrit au moins 184 espèces, plus que le continent de l'Europe ne porte de mammifères; tout autre arbre que celui dont ils mangent le bois ou l'écorce est pour eux un monde inconnu. Ainsi nul insecte de Cayenne n'est devenu le parasite du chou, de la carotte, de la vigne, du cafier, parce que ces plantes ont été

importées de contrées lointaines et qu'il ne se trouve dans le pays aucune espèce congénère[1].

L'aire d'habitation de chaque animal, grand ou petit, qui vit aux dépens d'un ou de plusieurs végétaux, étant forcément limitée par l'aire des plantes elles-mêmes, il en résulte que les carnivores sont également cantonnés dans la région végétale qu'habite la proie dont ils se nourrissent. En dehors de la zone tropicale, dans les contrées où l'hiver suspend périodiquement la vie des forêts et des prairies, les parasites du bois et de l'herbe sont aussi pour la plupart condamnés à dormir, soit dans la terre, soit dans la plante qu'ils rongeaient, et les bêtes de proie qui n'ont pas aussi leur période de sommeil hivernal, doivent souffrir de la faim ou changer de pays jusqu'au retour du printemps. Enfin la disparition d'une espèce végétale a toujours pour conséquence directe la disparition de la faune spéciale qui lui était attachée. Que l'homme abatte une forêt, défriche des broussailles ou dessèche un marais, et en même temps tout un monde d'animaux est frappé de mort ou d'exil.

La richesse de la faune est donc en connexion intime avec celle de la flore : là où la végétation germe du sol avec le plus de vigueur et d'abondance, là aussi les animaux vivent en plus grandes multitudes. Toutefois il ne faut pas croire que les bêtes de la plus forte taille habitent précisément les contrées où poussent les arbres gigantesques. Sous ce rapport, il y a plutôt contraste : les grands pachydermes de l'Afrique paissent sur des plateaux dépourvus d'arbres en beaucoup d'endroits et recouverts d'un maigre gazon; l'énorme ours blanc des régions boréales vit sur la neige et sur les banquises, loin de toute végétation forestière. En revanche, les splendides forêts du Brésil ne donnent abri qu'à des espèces relativement petites : la plus grande est le tapir, bien inférieur par ses dimensions aux colosses de l'Afrique. Le fait le plus remarquable dans la distribution des fortes espèces animales est qu'elles habitent les terres les plus vastes : c'est dans l'ancien monde

1. Schmarda, *Geographisches Jahrbuch von Behm*, 1866.

que vivent les géants du monde animal; et les singes à queue, les tapirs, les vigognes, les jaguars, les pumas de l'Amérique, sont d'une taille et d'une force bien moindres que les gorilles, les éléphants, les chameaux, les tigres et les lions de l'Afrique et de l'Asie.

Le nombre des espèces animales est également en rapport avec l'étendue des terres. Il n'existe pas d'exemple d'une seule île dont la faune soit plus riche que celle du continent voisin; dans presque toutes, on peut même constater une énorme infériorité sous ce rapport. La Grande-Bretagne, fragment détaché de l'Europe, a moins de formes animales que l'Allemagne ou la France; l'Irlande en a moins que l'Angleterre; la Sicile moins que l'Italie. Lorsque les Européens débarquèrent dans les Antilles, il y a bientôt quatre siècles, les seuls mammifères indigènes, à l'exception des chauves-souris, qui peuvent voler au-dessus des détroits, étaient quatre ou cinq espèces de rongeurs, dont une vivante de nos jours; et pourtant la végétation si variée des montagnes, des vallées, des plaines, des marais et des rivages de Cuba, de Haïti, de la Jamaïque, aurait pu suffire à l'entretien d'une multitude d'espèces. De même, avant l'arrivée des navigateurs anglais, la Nouvelle-Zélande n'avait d'autres mammifères que deux chauves-souris, un rat introduit peut-être par les navires, une sorte de loutre et un animal sauteur dont on n'a vu que les traces[1]. Il s'établit naturellement une véritable harmonie entre chaque région et sa faune particulière, si bien que le géologue, découvrant des fossiles très-variés et de grands squelettes dans une île de faibles dimensions, peut affirmer qu'elle faisait autrefois partie d'un vaste continent. Ce fait s'explique de deux manières, suivant le mode de formation des îles : qu'elles aient surgi loin de tout continent ou de toute autre île déjà peuplée d'espèces, alors elles n'ont pu recevoir d'immigrants à cause de l'énorme distance que ne pouvaient franchir les animaux[2]; qu'elles se soient au contraire détachées lentement des terres voisines,

1. F. von Hochstetter, *New-Seeland*.
2. Voir ci-dessus, p. 229.

comme la Grande-Bretagne et l'Irlande, et toutes les espèces que le changement du climat ou des conditions physiques du sol aura fait périr disparaîtront sans être remplacées par des espèces nouvelles venues du continent[1].

Du reste, pour résoudre cette importante question de la distribution des espèces animales, il est nécessaire que le naturaliste se reporte à ces âges antérieurs de la terre pendant lesquels les continents étaient autrement disposés qu'ils ne le sont de nos jours. Ainsi les singes du rocher de Gibraltar témoignent de l'ancienne continuité des côtes entre l'Espagne et la Barbarie, si toutefois ils n'ont pas été importés par des officiers anglais, comme l'affirment certains zoologistes. Ailleurs, par suite du changement des formes continentales, les espèces d'autrefois contrastent bizarrement avec les espèces actuelles : un simple détroit sépare deux faunes nées à des milliers et peut-être à des millions de siècles d'intervalle. C'est ainsi qu'à côté de la grande île Maurice, où manquent complétement les ophidiens, s'élève dans la mer une butte volcanique isolée, l'île Ronde, où l'on a découvert six espèces de serpents, deux lézards, un scorpion, des araignées et d'autres animaux inconnus ailleurs[2]. Pareil contraste, mais sur une échelle bien autrement grande, est observé entre l'archipel de la Sonde et le groupe des îles Australiennes. De l'île de Bali à celle de Lombok, que sépare un détroit de 24 kilomètres à peine, franchi en deux heures par les barques des Malais, l'opposition des faunes est aussi complète qu'entre l'Europe et l'Amérique : d'un côté, vivent des espèces toutes modernes, comme si les anciens types s'étaient graduellement renouvelés par le voisinage du vaste et tumultueux continent d'Asie; de l'autre, les animaux se sont maintenus sans changement dans leur physionomie pendant les derniers âges géologiques. En Australie, on ne voit ni chat, ni loup, ni ours, ni hyène, ni cerf, ni brebis, ni bœuf, ni éléphant, ni cheval, ni écureuil, ni lapin, ni aucune de ces espèces de quadrupèdes que l'on rencontre

1. Oscar Peschel, *Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde*, p. 51, 52.
2. Barkly, *Athenæum*, 12 mars 1870.

dans toutes les parties du monde; en revanche, que de « fossiles vivants, » d'animaux de formes antiques et qui nous semblent bizarres! Sur 131 espèces de quadrupèdes australiens, il n'en est pas moins de 102 appartenant à cette ancienne tribu des marsupiaux qui n'a plus, dans le reste du monde, qu'un seul représentant. La faune australienne ressemble toujours à celle qui occupait autrefois les mers et les rivages de l'Europe pendant la période jurassique; il faut remonter jusqu'à cette époque le cours des âges pour retrouver des animaux qui rappellent ceux de la Nouvelle-Hollande[1].

Quelle que soit l'énorme part revenant aux conditions antérieures du globe dans la distribution actuelle des espèces animales, il est certain qu'il y a de nos jours une remarquable harmonie entre la configuration des continents et des mers et la foule des êtres vivants qui les habitent. Chaque espace terrestre ou maritime nettement limité par quelque grand trait géographique, tel que détroit, isthme, chaîne de montagnes ou plateau, chaque pays bien distinct des contrées limitrophes par la nature du sol et surtout par le climat, possède aussi sa faune particulière, n'ayant en commun avec celle des autres régions qu'un nombre relativement minime de représentants. Les plaines françaises qui s'étendent au nord des Pyrénées et les vallées espagnoles tributaires de l'Èbre contrastent d'une manière frappante, aussi bien par certaines espèces animales que par leur végétation et l'aspect général de toute la nature. De même la différence est grande, pour les organismes vivants comme pour le sol, sur les deux versants des Alpes : en France, dans les bassins pierreux et désolés du Drac, de la Durance, du Verdon; en Italie, sur les bords si fertiles de la Stura, du Pô, de la Doire. Un isthme étroit, séparant deux mers, sépare en même temps deux mondes d'espèces différentes. C'est ainsi que, sur cent vingt zoophytes, la Méditerranée en a deux seulement de communs avec la mer Rouge, et cependant la faible barrière sablonneuse de Suez est de formation relativement

1. Alfred Wallace, *Malay Archipelago*. — Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Premiers Ages*.

récente dans l'immense série des âges géologiques. Les isthmes si minces de l'Amérique centrale qui se reploient entre le Pacifique et l'Atlantique sont pour les faunes des obstacles infranchissables, et les eaux que sépare cette distance de quelques kilomètres sont habitées par des espèces complétement différentes : à peine, nous dit Darwin, existe-t-il un seul poisson, un seul mollusque, un seul cétacé qui se retrouve à la fois dans les deux océans. Même le courant du fleuve des Amazones sert de limite à des multitudes d'espèces; il est des oiseaux qui ne se hasardent jamais à traverser cette mer en mouvement et dont l'aire d'habitation est rigoureusement bornée, soit par la rive droite, soit par la rive gauche.

Par suite de l'innombrable diversité des conditions actuelles du climat, du sol, de la nourriture, par suite aussi de la multitude infinie des causes qui, dans les âges antérieurs, peuvent avoir favorisé ou contrarié le développement des espèces engagées dans la bataille de la vie, les aires d'habitation des animaux ont une étendue des plus inégales. Il est des cétacés, des oiseaux nageurs et des échinodermes qui vivent dans toutes les mers, des moucherons qui tourbillonnent en nuées sur les marécages de tous les continents; en revanche, certaines espèces se trouvent seulement dans une région très-peu étendue : quelques reptiles sont propres à un seul district des montagnes Rocheuses ou du plateau d'Utah; tel colibri n'a été découvert que dans une seule vallée des Andes; chaque haut volcan de l'Équateur, le Pichincha, le Chimborazo, le Carahuirazo, est, comme l'île dans l'Océan, un monde à part ayant sa faune spéciale[1]. Dans l'immense fleuve des Amazones, trois espèces d'un poisson appelé *arias* se trouvent seulement à l'ouest de l'île Marajo, dans un espace de deux lieues à peine, à l'endroit où s'opère le mélange des boues soulevées par le conflit de la mer et du fleuve[2].

En outre, les surfaces si différentes que présentent de nos jours les aires d'habitation changent incessamment pendant le

1. Moritz Wagner.
2. Da Silva Coutinho.

cours des âges, suivant les modifications du sol et du climat. L'homme qui, lui aussi, est un agent géologique, et l'un des plus actifs, a pris une part énorme, soit directement, soit indirectement, dans la répartition des espèces animales[1]; mais sans parler de cette influence décisive due à l'intervention humaine, il est certain que toutes les variations du milieu produisent dans l'aire des espèces des variations correspondantes. Que le froid ou la chaleur s'accroissent dans une contrée, que les vents y deviennent plus ou moins forts, que les pluies augmentent ou diminuent, que le sol se renouvelle par un apport d'alluvions fluviales ou se sature de sel par une irruption de la mer, qu'un marécage se forme ou se dessèche, et nombre d'espèces animales avanceront ou reculeront pour trouver les conditions d'existence qui leur sont le plus favorables et la nourriture qui leur convient. Ainsi divers oiseaux de la haute Engadine sont allés s'établir dans les vallées inférieures, et la pie même a tout à fait quitté le pays[2]. Tous les naturalistes ont observé des phénomènes semblables : ils ont même constaté beaucoup d'exemples de migrations inexplicables en apparence, tant les modifications du milieu qui ont amené ces changements d'aires ont été peu sensibles pour l'homme. Ainsi les baleines cessèrent de visiter les Feröer pendant vingt-deux années, de 1754 à 1776; en Suède, nombre d'espèces ont complétement disparu de la contrée, puis sont revenues, comme des exilés rentrant sur la terre natale, habiter de nouveau la patrie de leurs ancêtres[3]. Ce n'est pas tout : non-seulement les animaux peuvent accroître ou rétrécir leurs aires d'habitation, mais ils peuvent aussi disparaître complétement, et l'histoire zoologique, à peine commencée depuis un petit nombre de siècles, raconte déjà la mort de plusieurs espèces. En revanche, de nouveaux êtres prennent, sur la terre incessamment rajeunie, la place de ceux qui ne sont plus, et pendant la succession des âges, la faune se renouvelle, soit par la

1. Voir, ci-dessous, le chapitre intitulé *Travail de l'Homme*.
2. Michelet, *la Montagne*.
3. Schmarda, *Geographisches Jahrbuch von Behm*, 1866.

génération spontanée, soit par la formation de variétés qui deviennent de plus en plus stables et présentent enfin tous les caractères de l'espèce. Comment expliquer autrement l'existence de la grenouille spéciale aux îles Fidji (*platymantis vitiana*) et cette remarquable faune décrite par Darwin, qui appartient en propre aux îles Gallapagos et ne se retrouve ni dans les archipels de la mer du Sud ni sur le continent le plus rapproché ?

V.

Grandes faunes terrestres. — Zones homoïozoïques.

Tout district se distinguant de ceux qui l'entourent par un certain nombre de formes animales a par cela même une faune particulière; mais d'ordinaire les naturalistes comprennent ce mot de faune dans un sens plus général et l'appliquent à un ensemble d'espèces habitant une vaste région géographique, en dehors de laquelle la grande majorité des formes a complétement changé. Du reste, ainsi qu'on peut s'y attendre, les savants sont loin d'être d'accord sur les limites de ces régions, car ces frontières n'ont point d'existence réelle et, dans la multitude des êtres vivants dont les aires d'habitation se mêlent et s'entre-croisent, il en est beaucoup qui appartiennent à la fois à plusieurs domaines. Schmarda, l'un des zoologistes classificateurs les plus autorisés, compte 21 grandes faunes terrestres, en y comprenant celles de Madagascar, de l'archipel de la Sonde et des îles de l'Océanie. Agassiz énumère seulement 8 faunes principales : l'arctique, la mongole, l'européenne, l'américaine, l'africaine, l'hottentote, la malaise et l'australienne. Ces diverses provinces zoologiques, dont chacune ne possède en commun avec les provinces voisines qu'un petit nombre d'es-

pèces, ont cependant de grands points de ressemblance les unes avec les autres, grâce à la multitude de leurs animaux qui se rapprochent par la conformation et remplissent des fonctions analogues dans l'ensemble de la nature : ces espèces, qui prennent dans la faune d'un continent la place occupée sur une terre différente par d'autres formes animales, sont connues sous le nom scientifique d'équivalents. Ainsi les chameaux de l'ancien monde sont remplacés dans l'Amérique du Nord par les llamas et les vigognes; les chevaux de l'Asie ont les zèbres pour parents dans l'Afrique méridionale, les autruches du Sahara sont représentées en Australie par les émus, et dans les pampas argentines par les rhéas. Sous ce rapport, le monde animal offre les mêmes harmonies que le monde végétal.

La plus grande analogie entre les deux séries organiques se retrouve aussi dans leur ordre de répartition sur la rondeur du globe. Toutes les régions circumpolaires de l'hémisphère boréal en Amérique, en Europe, en Asie, sont habitées d'espèces identiques ou, du moins, offrant entre elles un grand air de famille : une même flore, une même faune occupent les extrémités convergentes des continents; mais vers le sud, à mesure que les lignes de latitude agrandissent leurs cercles, et que l'ancien et le nouveau monde s'éloignent l'un de l'autre, l'ensemble des êtres vivants qui les peuplent, animaux et plantes, diffère de plus en plus. Le nombre des organismes communs aux terres séparées par l'Atlantique et par le Pacifique diminue graduellement, et dans les régions tropicales le contraste finit par devenir complet. En même temps, espèces animales et végétales deviennent de plus en plus nombreuses dans la direction du pôle à l'équateur. Au Spitzberg, M. Charles Martins a trouvé seulement 4 mammifères terrestres; 22 espèces d'oiseaux, qui sont toutes de passage, à l'exception d'une seule, volent au-dessus des montagnes de cet archipel, et 10 sortes de poissons en habitent les côtes; les animaux des ordres inférieurs appartiennent également à un très-petit nombre de formes : on n'y a découvert que 23 insectes et 15 mollusques. Au sud de ces régions

boréales, la quantité des espèces, des genres, des familles, est décuplée ou même centuplée, et dans les contrées équatoriales, où la végétation a toute sa fougue et toute sa richesse, la faune montre aussi une merveilleuse variété d'organismes et ses types les plus beaux de couleur et d'éclat. Un seul naturaliste, Bates, a rapporté, après une séjour de onze années sur les bords de l'Amazone, un trésor zoologique de 14,712 animaux divers, dont 8,000 non encore décrits; et combien en reste-t-il encore à découvrir, surtout parmi les insectes et les vermisseaux! Wallace, pendant six années de courses dans l'Archipel malais, a recueilli 125,000 échantillons, plus de 8,000 espèces de papillons et d'insectes. D'après Agassiz, le fleuve des Amazones possède à lui seul de 1,800 à 2,000 espèces de poissons, deux fois plus que la Méditerranée et plus que l'immense bassin de l'océan Atlantique. Et pourtant ce grand cours d'eau offre de Tabatinga à Macapa la même température, les mêmes conditions physiques et coule sous la même latitude. Le lac de Hyanuary, près de Manaos, qui n'a pas plus de 500 mètres carrés de surface (?), possède à lui seul plus de 200 espèces de poissons; tous les lacs et les fleuves de l'Europe réunis n'en renferment pas autant.

Il est vrai que, si les terres les plus rapprochées des pôles sont pauvres en espèces, ces espèces elles-mêmes ont, pour la plupart, des représentants en nombre immense. Quelques îlots des Lofoden sont tellement peuplés de volatiles qu'on leur a donné le nom de Nyker, ou « montagnes d'oiseaux. » De même, sur les promontoires et dans les fjords des Hébrides, des Shettland, des Feröer, de la Norvége, du Spitzberg, de la Nouvelle-Zemble, les assises des rochers sont occupées à perte de vue par des rangées d'oiseaux, pressés comme les soldats d'une armée. Quand ces foules de volatiles s'élancent contre le vent de mer pour aller chercher leur proie, ou tourbillonnent au-dessus des chasseurs, elles s'élèvent en nuages, et l'homme, ivre de destruction, n'a qu'à tirer au hasard pour abattre ses victimes, à moins qu'armé d'un bâton il ne préfère assommer les femelles, qui, tout en glapissant avec rage, restent noblement accroupies sur leur couvée.

Les faunes océaniques doivent nécessairement offrir dans leur distribution une plus grande régularité que les faunes terrestres, car les conditions physiques du milieu sont beaucoup plus égales dans la masse des eaux qu'à la surface des continents : la mer n'est point, comme la terre, hérissée d'obstacles qui arrêtent les animaux et modifient de diverses manières la configuration de leur domaine. Aussi les limites de chaque grande faune maritime sont-elles précisément celles du bassin où cette faune s'est développée : à l'est et à l'ouest, ce sont les rivages des continents; au nord et au sud, ce sont les différents climats qui arrêtent les espèces et leur font succéder d'autres formes animales.

Edward Forbes, le premier, a tenté de dresser une carte de la répartition des organismes vivant dans les mers, et depuis, les résultats généraux qu'il indiquait ont été confirmés en grande partie par les divers savants qui l'ont suivi dans cette voie. Chaque région ou province maritime est caractérisée par des espèces qui peuvent servir de représentants à tous les autres organismes de la province, et qui atteignent dans ces parages leur plus grand développement. Des deux côtés de la zone centrale où la faune propre à la province se montre dans toute sa richesse, les espèces vont en diminuant par degrés vers les autres régions, et disparaissent enfin, étouffées par les espèces dominantes qui, dans cette partie des eaux, constituent la foule de la population marine. Forbes compare le domaine de chacune de ces faunes à une nébuleuse dont les points lumineux, réunis au centre en amas brillants, deviennent de moins en moins nombreux vers la circonférence, et, sur le pourtour, ne constituent plus que des traînées éparses. D'ailleurs, les faunes de l'Océan, sortes de nébuleuses zoologiques, ne diffèrent point sous ce rapport des faunes continentales; seulement, grâce aux facilités de voyage qu'offre la mer aux animaux nageurs, les provinces maritimes où prédomine telle ou telle espèce sont d'une étendue plus vaste que les régions analogues de la terre ferme. En général, les mêmes animaux marins habitent les parages situés sous une même latitude : on voit un remar-

quable exemple de ce fait dans la Méditerranée, où les êtres organisés changent à peine des eaux de Gibraltar à celles d'Alexandrie. Quant aux limites de ces régions communes aux mêmes groupes, il est rare qu'elles soient nettement tranchées, si ce n'est au contact de deux températures différentes. Le passage d'une province à l'autre s'accomplit d'ordinaire sans transition soudaine, car la vie se développe sous l'influence des climats, et ces climats eux-mêmes cherchent sans cesse à s'équilibrer dans l'Océan par l'action des courants, des marées, des vents et des tempêtes. Du reste, il faut nécessairement tenir compte de toutes les conditions qui peuvent modifier les contours généraux de chaque domaine géologique : la forme du littoral, la nature du fond, la vitesse des courants, la hauteur des marées, la salure des masses liquides[1].

Ces diverses provinces sont les grandes régions que Forbes a désignées sous le nom de zones homoïozoïques (zones de « vie semblable »). Elles entourent la terre comme les zones de climat auxquelles elles correspondent, et l'on peut dire d'une manière générale que les lignes isothermes leur servent de limites ; c'est avec ces lignes idéales qu'elles se déplacent, tantôt remontant vers le nord, tantôt s'infléchissant de nouveau vers le midi.

La grande zone médiane est celle de l'équateur et des tropiques, dont la partie la plus importante embrasse tout l'océan des Indes et la bande centrale du Pacifique, depuis les côtes de l'Australie, de Bornéo et du Japon jusqu'à celles du Mexique et de la Colombie. C'est là, du moins en général, que les animaux marins offrent les couleurs les plus brillantes et les dessins les plus variés. C'est aussi là que les eaux pullulent du plus grand nombre d'organismes, et que coraux et madrépores construisent leurs îles circulaires, parsemées des côtes de l'Asie jusqu'au milieu de la mer du Sud. Entre l'Afrique et l'Amérique équatoriale, cette zone homoïozoïque se continue malgré l'interposition de deux continents; sur les côtes de la Floride, des Bermudes, des Antilles, des Guyanes et du Brésil,

1. *Natural History of the European Seas.*

des mollusques, des radiaires et des coraux, analogues à ceux des autres mers équatoriales, se propagent en abondance : les espèces sont différentes, les types généraux sont les mêmes.

Au nord de cette zone médiane, qui s'étend autour du globe sur une largeur moyenne de 6,000 kilomètres, s'arrondit une autre zone beaucoup plus étroite, et rendue très-irrégulière par les différences de climat que produisent vers le nord les vents, les courants maritimes et le contraste des côtes continentales. Cette zone « circumcentrale » du nord commence dans l'Atlantique aux parages de la Georgie et des Carolines, puis s'élargit vers l'ouest pour baigner les côtes du Maroc et de la péninsule Ibérique. Au delà du détroit de Gibraltar, elle comprend la Méditerranée, où l'on pêche le thon, l'éponge et le corail. Les espèces diminuent graduellement dans cette mer de l'occident vers l'orient, et sont encore beaucoup moins nombreuses dans les bassins fermés de l'intérieur du continent : le Pont-Euxin, la Caspienne et la mer d'Aral. Dans le Pacifique, cette même zone, dont les limites sont du reste fort peu connues, se développe des côtes de la Corée et du Japon vers celles de la Californie.

La troisième zone, située vers le milieu des latitudes tempérées, a reçu le nom, assez mauvais d'ailleurs, de zone neutre (*neutral*) du nord. De même que la zone précédente, elle se recourbe et s'élargit à travers l'Atlantique des côtes de l'Amérique à celles de l'Europe. Étroite sur la côte de la Virginie et du Delaware, elle s'étale vers le nord-est avec le Gulf-stream, et comprend toutes les mers celtiques de la péninsule de Bretagne, de l'Irlande, de l'Écosse, des Shettland. La mer Baltique et ses golfes n'en sont qu'une simple dépendance. Les grandes pêcheries de harengs se trouvent dans cette zone homoïozoïque.

La bande plus septentrionale, caractérisée par les pêcheries de morues et d'autres poissons analogues, suit également la grande courbe du Gulf-stream et s'élargit de l'est à l'ouest. Commençant du cap Cod à la baie de Fundy, elle embrasse l'Islande et les mers avoisinantes, et baigne toutes les côtes de la Norvége et de la Laponie jusqu'au cap Nord. Dans le Paci-

fique, cette zone, dite circumpolaire du nord, affecte, de même que la zone neutre, une disposition circulaire à cause du grand courant du Japon et des vents du sud-ouest, qui accomplissent dans cette partie de l'Océan un circuit semblable à celui du Gulf-stream.

Enfin, les mers arctiques sont occupées par la zone homoïozoïque polaire, dont l'étendue embrasse toute la calotte sphérique du pôle au Labrador, au golfe d'Obi, au détroit de Behring et au Kamtchatka. Les animaux marins y sont en général de couleurs assez ternes, les espèces y sont beaucoup moins nombreuses que dans les zones méridionales, mais en revanche elles sont pour la plupart représentées par une grande multitude d'individus.

Dans l'hémisphère méridional les zones homoïozoïques se succèdent suivant le même ordre que dans l'hémisphère opposé et présentent les mêmes transitions entre les espèces typiques; mais, il faut le dire, l'étendue relative de ces diverses zones est très-imparfaitement connue. On sait seulement qu'à l'ouest de l'Amérique du Sud, le domaine de chacune des faunes marines se recourbe vers le nord, entraîné, pour ainsi dire, par le courant de Humboldt qui longe le littoral. Provisoirement, les limites des zones ne sont guère fixées que par les lignes de température : c'est aux explorateurs futurs de les préciser d'une manière plus certaine. Il serait également difficile de dire actuellement dans quelle proportion les espèces d'animaux marins diminuent de l'équateur aux pôles. Pour résoudre approximativement ce problème, il serait avant tout nécessaire de connaître la richesse des océans en êtres organisés. On sait seulement que, dans les mers d'Europe, les espèces de poissons diminuent de près des deux tiers du sud au nord, puisqu'on en trouve 444 dans la Méditerranée, et que les mers scandinaves en offrent à peine 170. Les mollusques résistent mieux aux influences du climat, car Forbes en comptait environ 300 sur les côtes de la Suède et de la Norvége, c'est-à-dire à peu près moitié moins que dans les parages de la Méditerranée[1].

1. Edward Forbes, *Natural History of the European Seas.*

Pendant le seul voyage d'exploration dirigé par le capitaine Wilkes, les naturalistes américains ont recueilli dans les eaux tropicales de la mer du Sud 829 espèces de poissons, 900 crustacés, 2,000 mollusques, 450 coraux et 300 autres zoophytes.

VI.

Distribution des espèces sur les pentes des montagnes et dans les profondeurs des mers.

L'étagement des climats dans les hauteurs de l'air, analogue à leur succession dans la direction des pôles, a pour conséquence nécessaire une diminution rapide des animaux, des plaines fertiles de la base aux sommets neigeux des monts. Que le naturaliste gravisse quelque grande cime isolée de la zone torride, et il verra diminuer rapidement le nombre des espèces animales, exactement comme s'il voyageait vers les régions tempérées, puis vers celles du pôle. Enfin, en arrivant à la limite inférieure des neiges persistantes, où la végétation disparaît presque entièrement, il ne reste également que fort peu de représentants du monde animal, et ceux qui vivent encore dans ces hautes régions sont pour la plupart des êtres imperceptibles, comme les animalcules de la neige, ou de petits quadrupèdes qui s'enfouissent dans le sol, comme le campagnol découvert au sommet des Alpes[1]. Et non-seulement les espèces diminuent graduellement sur le flanc des montagnes, ce qui pourrait s'expliquer du reste par le manque de nourriture, l'accroissement du froid, la raréfaction de l'air; mais aussi les animaux des hauteurs ne sont plus les mêmes que ceux des pentes basses, et par la forme, le pelage, les mœurs, rappellent ceux de la zone polaire : les faunes des Andes et des Alpes ressemblent plus à celle du Spitzberg qu'à celles des

1. Charles Martins, *du Spitzberg au Sahara*, p. 310.

plaines de leur base, situées à peine à quelques milliers de mètres de distance[1]. Toutefois les orages, les coups de vent, les trombes, mêlent souvent les faunes naturellement étagées les unes au-dessus des autres, et quand on parcourt les neiges des sommets, il est rare qu'on ne voie pas la grande surface blanche parsemée de restes d'insectes apportés des vallées par les courants de l'atmosphère. Parfois même des papillons égarés volent au hasard dans ces mornes solitudes, où le froid de la nuit les fera certainement périr, si quelque vent propice ne les ramène bientôt vers les prairies natales. Quant aux oiseaux, nombre d'entre eux s'élèvent librement jusque vers les plus hautes cimes. M. Jules Remy a vu des multitudes d'oiseaux-mouches voltiger bruyamment autour du cratère du Pichincha, et, bien au-dessus de sa tête, le voyageur qui gravit les plus fiers sommets des Andes aperçoit le grand condor planant majestueusement dans le bleu du ciel.

De même que, sur les terres émergées, la plupart des animaux habitent les campagnes peu élevées au-dessus du niveau de l'Océan, de même l'immense majorité des êtres qui peuplent les mers, infusoires, annélides, crustacés, poissons et autres animaux, vivent dans les couches liquides de la surface et dans le voisinage des côtes. Il doit en être ainsi, car c'est le long des rivages que se trouvent les écueils où s'incrustent les coquilles, les grottes et les anfractuosités où se réfugient les poissons, les forêts d'algues qui servent à la fois de retraite et de nourriture à des multitudes d'organismes; c'est là que les fleuves apportent tous les débris végétaux et animaux des continents qui alimentent les peuples de la mer. Au large, toute épave, toute prairie d'algues flottantes est aussi un centre de rassemblement autour duquel s'agite un monde; même loin des côtes et des bas-fonds, la vie, peu intense en comparaison de celle du littoral, est néanmoins prodigieusement active dans les couches supérieures, car c'est à la surface que se propagent les vagues, dont le mouvement est nécessaire aux organismes de la mer comme le souffle des vents l'est à la vie

1. Voir, ci-dessus, p. 527.

des animaux terrestres; c'est aussi dans les parties superficielles de l'Océan que pénètre la lumière. D'après les expériences de Wilkes, les rayons ne descendraient pas au-dessous de 150 mètres de profondeur, et là par conséquent se trouverait la limite fixée par l'obscurité à nombre d'animaux et de végétaux marins. C'est donc à la zone de contact entre la mer et l'atmosphère, et surtout dans le voisinage des continents, que la vie aquatique fourmille en plus grande abondance. Sur la terre, la rencontre de plusieurs couches géologiques fertilise le sol et donne en conséquence une plus grande activité au développement des germes; de même le contact des trois éléments, l'eau, le vent et le rivage, appelle les êtres organisés dans les couches superficielles de l'Océan, et donne ainsi à la planète comme une enveloppe vivante.

Après avoir exploré dans le voisinage des côtes de l'Europe des parages relativement peu profonds de la mer, Edward Forbes avait cru possible d'indiquer l'épaisseur approximative des zones superposées de la flore et de la faune. D'après lui, chacune de ces zones se distinguerait par des organismes ou des groupes d'organismes particuliers, et n'offrant d'ailleurs, à l'exception de la plus haute, aucune limite nettement tranchée. La première zone, ou celle du littoral, comprise entre les niveaux extrêmes du flux et du reflux, a, suivant la hauteur des marées, de 1 à 20 mètres d'épaisseur : une multitude d'organismes y naissent et s'y propagent, parce qu'elle est alternativement baignée par les eaux et par l'atmosphère. La seconde zone, appelée aussi zone laminarienne à cause de certaines algues qui y développent leurs longues bandes, semblables à des courroies de cuir, aurait une épaisseur d'environ 30 mètres au-dessous du niveau des basses mers. C'est la grande région des plantes marines, des poissons, des mollusques, des crustacés. La plupart des espèces y sont remarquables par l'éclat ou même la splendeur des teintes que leur ont donné les rayons lumineux réfractés à la surface des eaux. La troisième zone ou zone coralline descendrait jusqu'à 60 mètres au-dessous de la zone précédente; les animaux vertébrés ou invertébrés y sont représentés par de nom-

breuses espèces; mais déjà les plantes y sont rares. La quatrième zone des mers européennes, qui, d'après Edward Forbes, n'aurait qu'une épaisseur de 200 à 600 mètres, et au-dessous de laquelle s'étendrait l'immense solitude des mers inhabitées, est sans aucun doute moins richement peuplée que les couches liquides supérieures où pénètre encore la lumière du soleil, et les mollusques, les crustacés, les annélides qui s'y trouvent sont pour la plupart revêtus de couleurs sombres; mais ce n'est point là que se trouvent les bornes de la vie.

Il est désormais incontestable que les animaux marins vivent à une beaucoup plus grande profondeur que les naturalistes ne l'admettaient encore à une époque très-récente, et même il n'est pas, au fond de l'Océan, de limites connues à l'existence des espèces. Bien que les sondages opérés en pleine mer à de grandes profondeurs fussent encore relativement très-peu nombreux, et que, le plus souvent, le plomb de sonde n'eût rapporté aucun échantillon des sables ou des vases du fond, cependant la plupart des savants affirmaient d'avance, et en s'appuyant seulement sur ces témoignages négatifs, que les abîmes de la mer étaient des espaces « azoïques » ou « abiotiques, » c'est-à-dire absolument dépourvus d'organismes vivants. Même lorsque déjà divers navigateurs avaient obtenu des preuves du contraire, des savants considérables, tels qu'Edward Forbes, Goodwin Austen, Agassiz, de la Bèche, croyaient qu'au-dessous d'une profondeur, fixée par les uns à 300 mètres, par les autres à 600 mètres, toute vie animale ou végétale était impossible. La pression de l'eau étant égale à celle de toute une colonne atmosphérique pour chaque profondeur de 10 à 11 mètres, on pensait que les conditions générales du milieu se trouveraient assez changées au fond de l'Océan pour prévenir d'une manière absolue le développement de tout organisme dans les eaux profondes. D'avance on affirmait que des êtres vivants ne pourraient vivre sous une pression de plusieurs centaines ou même d'un millier d'atmosphères. Suivant une hypothèse qui n'est pas non plus d'accord avec les faits, ni plantes ni insectes ne sauraient exister sur

les plus hautes montagnes; de même, par une sorte de polarité, les profondeurs des océans n'auraient été qu'une solitude immense. Le plus hardi parmi les animaux marins aurait été le beau corail des côtes de Norvége, le *lophelia prolifera,* dont les ramures roses s'attachent aux rochers jusqu'à 600 mètres de la surface.

Et cependant, dès l'année 1818, les résultats de plusieurs sondages avaient donné un démenti à l'opinion que professaient la plupart des naturalistes. Dans la baie de Baffin, John Ross avait ramené du fond de petits crustacés, des annélides, des échinodermes, et dans les parages où vivaient ces animaux, la profondeur accusée par la sonde variait de 200 à 1,890 mètres. De l'autre côté de la Terre, dans les mers antarctiques, James Ross découvrit, en 1841, des crustacés vivants à une profondeur de 720 mètres; mais ce nouveau témoignage constatant l'existence d'organismes dans les abîmes océaniques fut écarté comme les autres. Plus tard, les sondages opérés d'Irlande à Terre-Neuve, sur le « plateau télégraphique, » ramenèrent à la surface un grand nombre de petits organismes, foraminifères, polycistines et diatomées. Bien plus, la sonde découvrit 116 espèces diverses de ces animalcules, prises à une profondeur de 6,600 mètres entre les Philippines et les Mariannes.

Enfin, dans le voyage d'exploration entrepris en 1860 à travers l'Atlantique du Nord par Mac Clintock, le docteur Wallich résolut définitivement la question par des preuves incontestables. Au sud-est de l'Islande, la drague détacha d'un rocher, situé à 1,228 mètres de profondeur, un fragment de serpule dont la chair était encore fraîche, et de petits coquillages vivants. Un autre sondage ramena d'une profondeur de 2,268 mètres, c'est-à-dire d'une région où le poids des couches liquides dépasse 200 atmosphères, plusieurs petits coquillages et treize étoiles de mer, dont l'une n'avait pas moins de 12 centimètres de large; ces animaux ayant des restes de foraminifères dans leurs cavités digestives arrivèrent vivants à la surface de l'eau, et pendant un quart d'heure ils ne cessèrent d'agiter leurs longs bras couverts

d'épines[1]. Depuis la découverte de Wallich, Torrell a retiré d'une profondeur de 2,620 mètres, dans la mer du Spitzberg, un crustacé aux brillantes couleurs. Entre Key-West et la Havane, dans le golfe du Mexique, le fond de la mer, jusqu'à près de 1,000 mètres au-dessous de la surface, a paru aussi peuplé que celui des eaux du littoral d'animaux blancs, rosés, verts, couleur d'orange[2]. De même, dans la Méditerranée, le câble télégraphique qui rejoignait l'île de Sardaigne à la côte de Gênes s'étant rompu, on trouva que ses fragments étaient recouverts de polypiers et de coquillages donnant à certaines parties du fil la grosseur d'une barrique. Plus tard, le télégraphe sous-marin qui rejoignait la Sardaigne à l'Algérie s'étant aussi brisé, M. Alph. Milne Edwards reconnut sur un morceau du câble, repêché d'une profondeur de 2,000 à 2,800 mètres, un grand nombre d'animaux, qui tous avaient vécu au fond de la mer sur ce fil tendu par l'homme, car ils s'étaient moulés sur la rondeur du fer qui les portait, et leurs parties molles étaient encore conservées. Parmi ces êtres se trouvaient des serpules, une espèce d'huître, un pecten à coquille fortement colorée, enfin des polypes qui ne s'étaient encore rencontrés nulle part dans la Méditerranée et que l'on croyait exister seulement à l'état fossile[3]. En 1868 et en 1869, MM. Carpenter, Wyville Thomson et d'autres savants ont ramené du fond des mers qui s'étendent entre les Feröer et l'Écosse non-seulement des quintaux d'une vase composée principalement de globigérines, mais aussi divers types d'animaux supérieurs, échinodermes, annélides, crustacés et mollusques. Tellement riche a été la moisson, récoltée jusqu'à des profondeurs de 4,400 mètres, qu'aux 451 espèces de mollusques marins énumérés dans la faune britannique se sont ajoutées 117 nouvelles espèces, et ce n'est là qu'un commencement. Ehrenberg a prouvé qu'il existe aussi des animalcules lumineux au fond du golfe du Mexique, et ce fait inattendu permet de supposer que les abîmes du grand

1. Wallich, *Atlantic Sea-bed*, p. 69.
2. Pourtalès, *Bulletin of the Museum at Harvard College*, 1868.
3. *Annales des sciences naturelles*, 4e série. 1861.

Océan ne sont point ensevelis sous des ténèbres insondables. On peut croire que, même à des milliers de mètres de profondeur, la lumière ne manque pas complétement et qu'elle se produit périodiquement ou même d'une manière constante; c'est là ce qui expliquerait pourquoi les espèces retirées des eaux profondes n'ont pas les yeux atrophiés comme les poissons et les insectes des cavernes[1]. Les animaux trouvés au fond du golfe du Mexique par M. Pourtalès ont des yeux aussi bien développés, sinon plus grands, que ceux des espèces vivant à la surface des eaux.

Ainsi les profondeurs de l'Océan ne sont point un immense désert où le mouvement des contre-courants cachés serait seul à témoigner encore de la vie terrestre; même au milieu de ces espaces ténébreux, il y a des êtres qui naissent, qui travaillent et qui meurent. Il est probable que la plupart de ces êtres, comme les habitants des cavernes terrestres, ont une livrée de teinte sombre; mais en tout cas ce n'est pas là une loi zoologique, car précisément les espèces qui ont été découvertes aux plus grandes profondeurs, c'est-à-dire les échinodermes trouvés par Wallich dans la mer d'Islande, le crustacé retiré par Torrell du fond de l'océan Glacial, et nombre d'êtres marins découverts par Carpenter et Wyville Thomson offrent des couleurs non moins vives que celles de leurs congénères des eaux du littoral. En s'accommodant peu à peu, soit par migration, soit par l'effet d'une lente dépression du sol, à ce milieu des eaux profondes, ces êtres ont gardé l'éclat spécifique des teintes que leurs ancêtres devaient sans doute à la riche lumière répandue dans les couches superficielles de l'Océan[2]. Ainsi que le dit Carpenter, les types rencontrés dans les abîmes les plus profonds peuvent avoir un caractère tout aussi élevé que les animaux vivant dans les eaux beaucoup moins profondes. L'énorme pression de la masse des eaux océaniques semble n'avoir qu'une faible influence sur la distribution de

1. *Mittheilungen von Petermann*, VI, 1867.
2. Wallich, *North Atlantic Sea-bed*, p. 135.

la vie animale; sous ce rapport, la température est l'agent par excellence, et les espèces se répartissent dans les diverses couches suivant les courants d'eau tiède ou d'eau froide qui se portent du pôle à l'équateur ou de l'équateur au pôle[1]. Quant aux plantes marines, on n'a pas encore signalé d'algues proprement dites croissant à une profondeur de plus de 400 mètres; les seuls organismes peut-être végétaux que l'on ait trouvés dans les abîmes de l'Océan appartiennent à l'ordre tout à fait primitif des diatomées. Il est donc très-probable que les espèces marines se nourrissent en absorbant à travers leur surface des matières en solution. Le *bathybius* ou *sarcod*, sorte de mucus organisé qui se rencontre en abondance dans les grandes profondeurs et qui servirait d'intermédiaire entre les formes animales et les formes végétales[2] rudimentaires, serait la pâture des troupeaux de l'Océan.

VII.

Travaux géologiques de certaines espèces animales. — Les récifs et les îles de corail.

Bien peu nombreux sont les animaux qui, dans le but d'atteindre leur proie ou de se construire des habitations, remuent assez la terre pour laisser à la surface ou dans les couches supérieures du sol les traces de leurs travaux. Les lapins, les renards, les « chiens de prairie », les marmottes, se creusent des terriers; les taupes, les rats musqués cheminent souterrainement, comme les mineurs, par de longues avenues ou des galeries en labyrinthe; les termites se bâtissent de hauts obélisques d'argile; mais quand les animaux constructeurs ont disparu, voûtes cachées ou palais visibles ne résistent pas longtemps aux pluies, à la végétation, à tous les agents de

1. *Proceedings of the Royal Institution*, vol. V.
2. Ernst Häckel; Williamson; Huxley.

ruine qui les entourent. Des travaux accomplis directement par un mammifère, ceux qui durent le plus et qui peuvent avoir une influence réelle sur la topographie d'un district et jusque sur le climat local, ce sont les ouvrages des castors : les ruisseaux, retenus par ces digues, se transforment en bassins étagés ou en marécages, qui plus tard deviennent des prairies, lorsque les remparts sont tombés en ruine. Dans les forêts de l'Amérique septentrionale, que les castors habitent encore en tribus populeuses, un grand nombre de cours d'eau ont été changés ainsi, par les troncs d'arbres abattus, en une succession d'étangs. D'après Milton et Cheadle, presque toutes les rivières qui coulaient à l'est des montagnes de la Colombie anglaise ont été supprimées et transformées en marais. Simpson affirme que sur le pourtour de la baie de Hudson la moitié du territoire a été mise sous l'eau par les constructions des castors. On a vu des digues de plusieurs centaines de mètres de longueur limiter des bassins de 10, de 20 et même de 40 hectares de superficie. Sur un seul cours d'eau, la rivière de Chocolat, qui débouche près de Marquette dans le lac Supérieur, on a compté plus de deux cents chaussées bâties par les castors. Ces animaux vont même jusqu'à creuser des canaux d'un mètre de largeur et de profondeur, et d'une longueur de plusieurs centaines de mètres, afin d'assurer le service de leurs approvisionnements. Leurs percées ont parfois pour résultat de changer le cours des ruisseaux, et l'on dit qu'en plusieurs endroits ces voies artificielles ont fait communiquer le lac Michigan et le lac Supérieur, le bassin du Saint-Laurent et celui du Mississipi[1]. Plus utiles à l'homme que ne l'est le castor, les vermisseaux remuent aussi le sol, et quoique l'œuvre faite par chaque individu soit bien peu de chose, le résultat des travaux collectifs n'en est pas moins de la plus grande importance, car, ainsi que le fait remarquer Darwin, ce sont les vers de terre qui contribuent le plus à préparer le sol végétal où se développent nos cultures.

1. Morgan, *the Beaver and his Works*. — Credner, *Mittheilungen von Petermann*, IV, 1869.

Dans les énormes changements géologiques dus à la vie animale, la plupart des êtres n'ont aucune part volontaire et, s'ils modifient la face de la planète, c'est uniquement par l'accumulation de leurs débris. De même que les humbles sphaignes et d'autres plantes des marais finissent, grâce à leurs innombrables multitudes, par s'étendre en couches épaisses de tourbe sur de vastes plaines et jusque sur les pentes des montagnes, de même des animalcules d'une petitesse extrême, grouillant en myriades de myriades, forment à la longue de puissantes assises dans les roches extérieures de la terre. Un quartier de la ville de Berlin est construit sur un sol mouvant, composé de générations successives de ces infiniment petits; aux bouches de l'Oder et de maint autre fleuve, dans le port de Wismar, sur la barre de Pillau, la vase est formée en partie, ou même pour un tiers ou la moitié, d'espèces vivantes, entassées en multitudes incalculables[1] : c'est à un million de mètres cubes au moins qu'il faut évaluer les masses d'animalcules qui se déposent chaque siècle dans le port de Pillau. Que ces vases se dessèchent un jour et, comme les schistes et les grès, elles constitueront de solides assises dans les plateaux et les montagnes de la terre ferme. De même les diatomées, les foraminifères du fond de l'Océan[2] et les coraux des couches supérieures de la mer travaillent sans cesse à édifier des terrains géologiques semblables à ceux que construisirent les espèces des âges antérieurs et qui sont aujourd'hui les roches des continents émergés. Par leur œuvre incessante d'assimilation, les polycystines, les globigérines, les éponges, les madrépores et autres travailleurs de l'Océan s'emparent de l'acide carbonique, du calcaire et de la silice qu'apportent les fleuves, et rebâtissent la terre avec ces imperceptibles matériaux. Tandis que les cours d'eau érodent la base des montagnes et les démolissent, molécule à molécule, les habitants de la mer s'occupent de jeter les fondements d'un nouveau monde. On peut se faire une idée du rôle immense que remplissent dans

1. Recherches d'Ehrenberg en 1839. — Anton von Etzel, *die Ostsee*, p. 421.
2. Voir, ci-dessus, p. 549.

l'histoire de la planète les innombrables organismes de l'Océan, quand on songe à la provenance de ces formations calcaires qui recouvrent une si grande partie de la surface des continents. Burmeister l'a dit avec raison : quelle que soit l'origine première de la chaux, de la dolomie, de la craie, il est certain que toutes les roches de cette composition minéralogique ont été « mangées et digérées » par des animalcules semblables à ceux de nos mers actuelles. Les foraminifères du fond de l'Atlantique du Nord déposent des calcaires en tout semblables à ceux de nos montagnes; de nouvelles roches oolithiques se forment, entièrement composées de petites *orbulina universa*[1]. Les observations de Fraas, de Foucou et d'autres géologues portent même à croire que les sources de pétrole si abondantes qui jaillissent aux États-Unis, au Canada, sur les bords de la mer Rouge, en Birmanie, sont produites par la décomposition de débris organiques marins entassés dans le sol en couches immenses[2].

Les plus connus, sinon les plus actifs, parmi ces travailleurs de la mer, ces « faiseurs de mondes[3] », sont les polypes, au nombre de plusieurs centaines d'espèces, dont les débris amoncelés forment des terres considérables dans la mer du Sud et dans l'Atlantique tropical. Les coraux des mers tempérées ne croissent pas en myriades assez nombreuses pour déposer des bancs de roche d'une grande étendue. C'est dans les eaux dont la température est d'au moins 19 degrés centigrades, c'est-à-dire dans une zone équatoriale d'environ cinquante degrés de largeur, que vivent et se multiplient ces foules prodigieuses d'ouvriers qui, par l'élaboration de substances calcaires contenues en solution dans la masse liquide, font graduellement surgir des terres du lit de l'Océan. Les polypes constructeurs, appartenant pour la plupart à la famille des madrépores, sont bannis de toutes les mers que traversent les courants froids. Aussi ne voit-on aucun récif de corail le long

1. *Nautical Magazine,* novembre 1862.

2. Fraas, *Aus dem Orient,* p. 191, 192. — Foucou, *Revue des Deux Mondes,* 15 avril 1869. — *Ausland,* n° 52, 1868.

3. Michelet, *la Mer.*

des côtes occidentales de l'Amérique du Sud, réchauffées par un soleil tropical, mais baignées par les eaux fraîches venues du pôle. C'est aussi probablement à cause de l'accroissement graduel du froid dans les couches profondes de la mer que les coraux bâtisseurs vivent seulement à une faible profondeur au-dessous de la surface; à plus de 50 mètres, la drague n'en découvre pas un seul.

En certains parages de la mer du Sud, les multitudes de ces fleurs animées, dont les variétés diverses brillent des couleurs les plus vives, donnent à la surface de l'eau, sur les bas-fonds, l'aspect d'une campagne diaprée de corolles éclatantes. Quant à la masse calcaire produite par les générations successives des madrépores, elle est en général d'un blanc mat. Les récifs bâtis par les méandrines se développent en protubérances mamelonnées, sur lesquelles serpentent des lignes semblables aux circonvolutions d'un lobe cérébral; les constructions des porites s'étalent en larges assises régulières, tandis que d'autres sont formées de cavités hérissées de pointes, ou bien encore ont l'apparence de broussailles changées en pierre. Lorsque les récifs ont graduellement émergé et perdu les colonies d'animaux qui les peuplaient, on peut souvent reconnaître les différentes espèces de coraux qui ont servi à constituer la roche; fréquemment aussi, les troncs et les branches du polypier ont été brisés en tant de fragments et mêlés d'une manière si intime avec les débris des coquillages, qu'on ne peut discerner aucun linéament de la contexture primitive; la masse rocheuse, qui est en entier l'œuvre des animaux, paraît aussi dépourvue de débris d'une forme régulière que le seraient des couches de sable. Toute trace de la vie qui a créé les îles et qui s'agite encore sur leurs contours extérieurs a complétement disparu. Ainsi changée, la roche calcaire, qui ressemble parfaitement d'ailleurs aux assises de même origine déposées pendant les anciennes périodes géologiques, est souvent très-compacte ou même partiellement cristalline comme une sorte de marbre[1].

1. Beete Jukes, *School manual of Geology*, p. 67 et suiv.

Dans chaque récif encore vivant, les coraux les plus vigoureux, tels que les méandrines et les porites, occupent la partie extérieure des rochers exposés à toute la force des vagues; leurs remparts calcaires, que viennent assaillir les marées et la houle, protégent les espèces plus délicates vivant à l'abri dans les eaux tranquilles des canaux et des lagunes de l'intérieur du récif. Du reste, les bancs ne sont point uniquement composés de polypiers : des coquillages d'une grande variété abondent dans toutes les vasques des rochers et grossissent de leurs restes l'épaisseur de la pierre; des échinodermes remplissent de leurs épines toutes les anfractuosités; enfin des milliards et des milliards de foraminifères, autre monde vivant

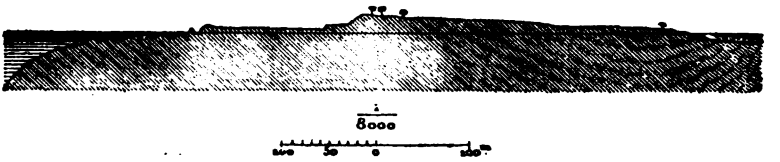


Fig. 176. — Profil d'un banc de corail; d'après Darwin.

sur le monde des coraux, fourmillent dans chaque flot qui baigne le récif. En maints parages des mers du Sud, notamment sur la grande barrière circulaire de l'Australie, le sable des plages est en entier composé des disques blanchâtres de ces animaux marins. Toute l'immensité pullulante, comparable à un appareil chimique de prodigieuses dimensions, sépare incessamment les sels de chaux enlevés aux terres par les eaux marines et les met en réserve pour des continents futurs.

Là où les forces souterraines, qui sont à l'œuvre dans l'épaisseur des couches terrestres, travaillent à soulever le fond des mers, les récifs émergent naturellement en une période plus ou moins longue, suivant l'impulsion qui les anime et, pendant le cours des âges, s'élèvent graduellement au-dessus de la mer avec les îles où sont jetés leurs fondements. Les roches madréporiques finissent aussi par sortir des eaux, même dans les parages où un lent mouvement de dépression engloutit peu à peu les anciennes terres. Telle île qui se dres-

sait en montagne au-dessus de l'Océan a depuis longtemps disparu, et les navires jettent aujourd'hui l'ancre à l'endroit précis où s'est engouffrée la cime; mais autour des anciens rivages recouverts par les flots se développe une ceinture annulaire d'îlots et de récifs croissant en dehors des eaux comme une muraille vivante : cette bizarre rangée de rivages étroits, disposés en forme de cercle ou d'ovale au milieu de la mer, est un de ces atolls dont la formation a été si bien expliquée par Darwin[1]. D'après Dana, les grandes îles coralligènes du Pacifique sont au nombre de 290 et comprennent ensemble une superficie de 50,000 kilomètres carrés, soit environ la huitième partie de la surface émergée dans cet océan. Quant aux petites îles de la même origine, on n'a point encore essayé de les compter. Sans exagérer, le roi des Maldives, nom qui signifie *îles innombrables*, a pu se donner le titre de sultan des treize atolls et des douze mille îles[2].

Depuis Strahan, qui découvrit, en 1702, les merveilleux travaux des madrépores, tous les navigateurs ont raconté comment les constructions amenées par les polypes jusqu'à fleur d'eau peuvent se transformer graduellement en terre ferme et se revêtir de végétation. Les vagues brisent les tiges saillantes, soulèvent des fragments de corail mal assujettis et les roulent devant elles jusqu'au point le plus haut du récif. Là se forme peu à peu une plage de débris où déferlent les brisants en apportant du large le sable, les coquillages rompus, les restes des innombrables organismes qui pullulent dans la mer. Enrichi par ces relais du flot, le rivage calcaire se recouvre çà et là d'une mince couche de sol végétal, où tôt ou tard vient germer une graine dont le courant s'était emparé en rasant une terre éloignée. Quelques plantes terrestres embellissent de leur verdure la côte grise et monotone; puis des arbres y prennent racine; des insectes, des vers transportés sur des troncs de dérive comme sur des radeaux peuplent les bosquets naissants; des oiseaux accourent pour y cacher leurs nids

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Oscillations lentes du sol terrestre*.

2. Dana, *United States Expedition*.

dans le feuillage; souvent enfin quelque famille de pêcheurs, attirée de loin par la beauté du site, vient prendre possession de la terre nouvelle, et construire sa cabane au bord d'une

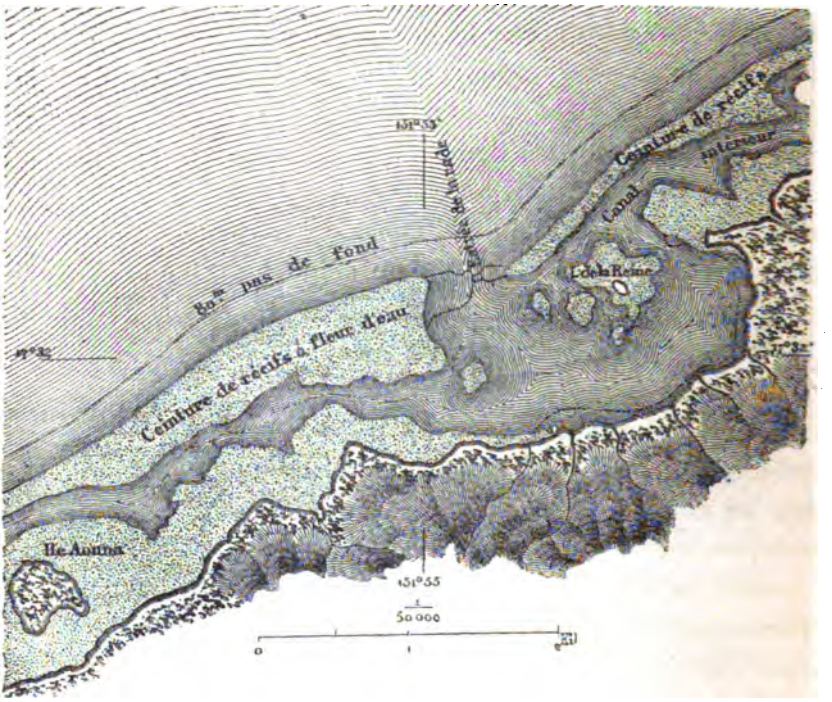


Fig. 177. — Rade de Papeiti (Ile de Tahiti).

source, qui s'est peu à peu formée dans une cavité par l'écoulement souterrain des eaux de pluie. Telle a été l'histoire de centaines et de milliers d'îles éparses dans l'océan Pacifique et la mer des Indes. Il en est qu'on a vues naître pendant le cours de ce siècle. Ainsi l'île de Bikri, dans l'atoll d'Ebon, n'atteignait pas encore la surface de l'eau en 1825; en 1860, c'était déjà un rocher émergé d'une quarantaine d'ares, et quelques pendanus semés par les vagues croissaient dans le sable de la plage. D'autres îles, jadis séparées, se sont maintenant réunies pour former une seule terre en croissant, et l'on

reconnaît encore les anciens chenaux par leurs roches nues ou recouvertes d'une maigre végétation[1].

ILE GAMBIER.

Fig. 178.

D'ordinaire, c'est la fraction de l'anneau tournée vers les parages d'où le vent souffle le plus fréquemment qui offre le plus de terres émergées ou même une demi-circonférence complète, car c'est au choc de la houle que se plaisent les animalcules constructeurs. Cependant il est des archipels, comme celui des îles Marshall, où les îles continues se développent

1. Doane, *American Journal of Science and Arts*, mai 1860.

précisément sur la côte de l'atoll le moins battu des vagues. On explique ce fait par la violence des vents alizés du nord-

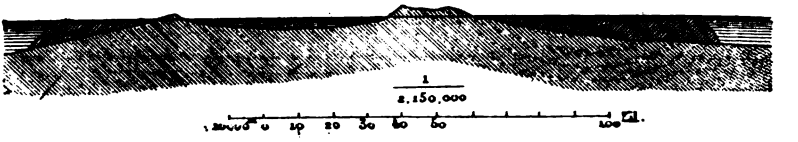


Fig. 179. — Profil de l'île Gambier; d'après Darwin.

est qui, pendant six mois de l'année, transportent des récifs orientaux à ceux de l'occident tous les matériaux brisés, toutes

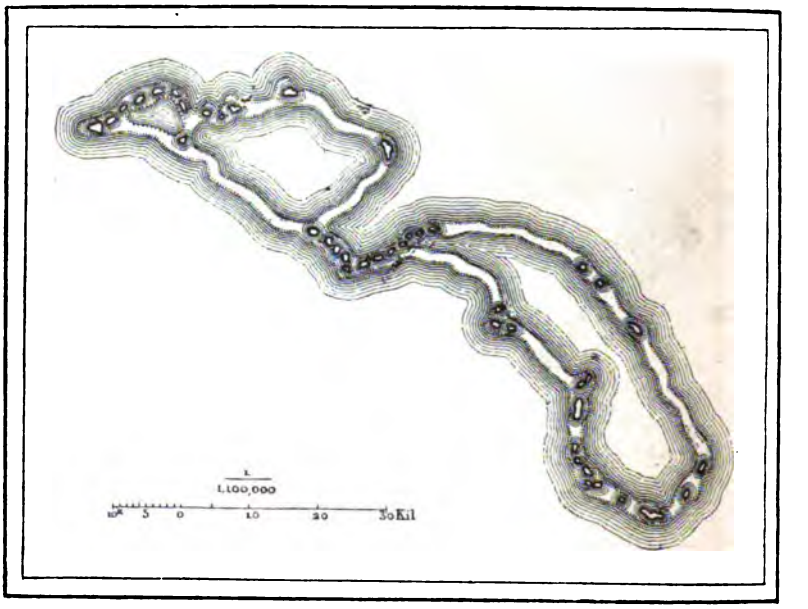


Fig. 180. — Atoll de Menchikoff.

les épaves, et construisent ainsi une plage artificielle sur la partie de l'atoll la moins peuplée de coraux.

Du reste, l'aspect des récifs diffère grandement suivant l'activité des coraux et les diverses conditions physiques du sol dans lequel ils élèvent leurs édifices. Autour d'un grand nombre d'îles [1], dont Tahiti peut servir d'exemple, les récifs

1. Voir la figure de la page 586.

des madrépores frangent les rivages comme les écueils des côtes rocheuses de la Bretagne, et c'est à peine s'il reste entre la terre ferme et la ceinture des récifs proprement dits un étroit chenal, où les embarcations pénètrent difficilement, mais où elles naviguent en sûreté, protégées contre la houle du large. D'autres îles, comme Gambier (voir les fig. 178 et 179) et Vanikoro, sont entourées à une assez grande

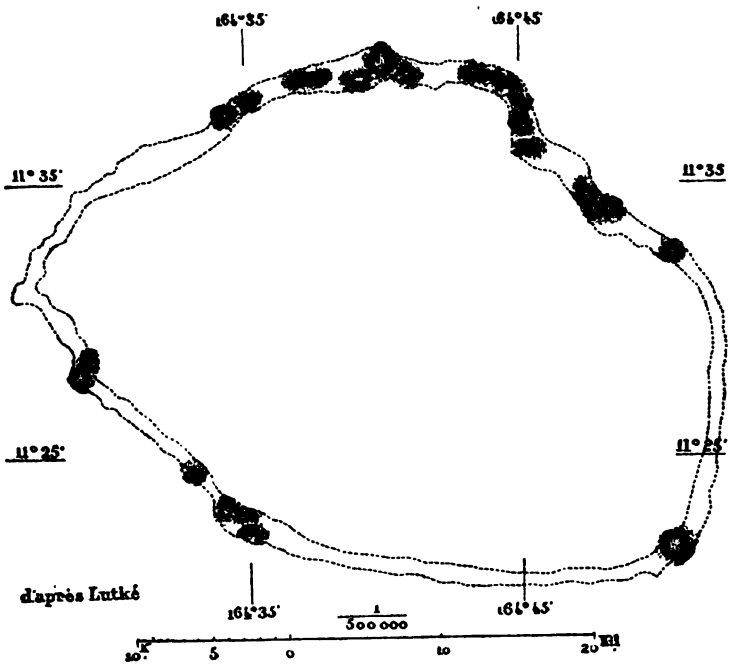


Fig. 181. — Archipel de Brown.

distance d'un anneau de roches presque complet et de formes assez régulières. Ailleurs, l'île centrale a disparu et se trouve remplacée par une lagune que l'atoll enveloppe de toutes parts d'un cercle de plages et de brisants. Tel atoll est simple, comme le fameux atoll de Keeling, devenu célèbre par la description de Darwin; tel autre est double, comme celui de Menchikoff (voir fig. 180); tel autre encore est multiple, infini, pour ainsi dire, comme ces merveilleuses agglomérations des Maldives, où chaque récif est un atoll en miniature, composant avec d'autres récifs de forme semblable un atoll plus grand, qui

est lui-même le chaînon d'un immense atoll de 100 kilomètres de tour[1]. Il est aussi dans la mer plusieurs rangées d'îlots épars

PARTIE DU GROUPE DE KINGSMILL; d'après Dana.

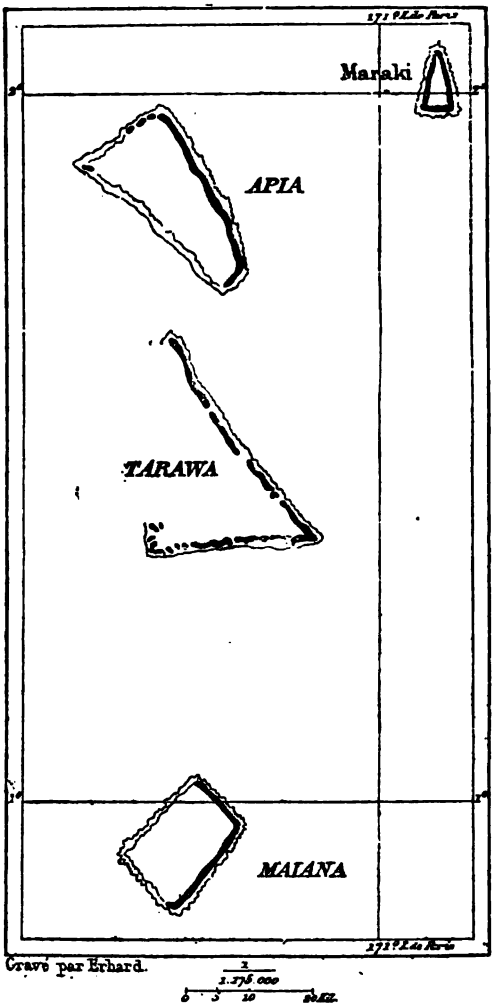


Fig. 182.

qui ne semblent point différer des archipels en désordre des mers tempérées et qu'on ne reconnaîtrait point comme des fragments d'une grande île annulaire, si un cercle de bas-fonds

1. Voir, dans le premier volume, la planche représentant l'*Atoll-Ari*.

ne montrait pas que ces îlots sont tout simplement les saillies émergées d'un atoll sous-marin. Comme exemple de cette formation, on peut citer l'archipel de Brown (fig. 181). Enfin, certaines îles de corail, celles d'une partie de l'archipel de Kingsmill notamment, ont des formes presque régulières de triangles et de carrés. Il est difficile d'expliquer cette bizarre disposition, qui provient sans doute du conflit des courants océaniques.

En comparant à plusieurs reprises la hauteur exacte des bancs de coraux qui frangent la base des forts bâtis sur les écueils des côtes de la Floride, Agassiz a trouvé que la croissance moyenne doit en être évaluée à 20 ou 30 centimètres par siècle. Ainsi les travaux des madrépores s'opèrent avec lenteur, et de très-petits changements dans la distribution relative des terres et des mers mettent une longue série de siècles à s'accomplir; néanmoins ces populations innombrables d'animalcules construisant sans relâche leurs édifices calcaires sont de la plus grande importance dans l'histoire géologique du monde. Elles sont à l'œuvre sur presque tous les bas-fonds et les rivages de la mer Rouge, de l'océan Indien et du Pacifique, c'est-à-dire sur un développement total de côtes de plusieurs centaines de mille kilomètres. Ce n'est donc point par une simple figure de langage que les géographes désignent les coraux comme des bâtisseurs de continents futurs. Entre l'Australie et la Nouvelle-Guinée, dans cette partie de l'Océan qui a reçu tout spécialement le nom de « mer de Corail », les innombrables myriades associées ne travaillent à rien moins qu'à reconstruire l'ancienne partie du monde qui, dans l'hémisphère du sud, faisait autrefois équilibre à la puissante masse de l'Asie. La ligne continue de récifs qui s'étend au large des côtes de Queensland et de la péninsule du cap York n'a pas moins de 1,500 kilomètres de longueur; vers l'entrée du détroit de Torres, ce mur de corail, bien nommé la Grande-Barrière, s'est changé en une véritable digue, dont les habiles marins connaissent seuls les ouvertures. Sur un espace de 500 kilomètres environ, l'accès du rivage de l'Australie et du détroit de Torres est complétement défendu par ce sinueux

rempart de roches madréporiques, et par-delà cet obstacle, les navires qui se dirigent vers les îles de la Sonde ont encore

MER ROUGE ET SES CORAUX.

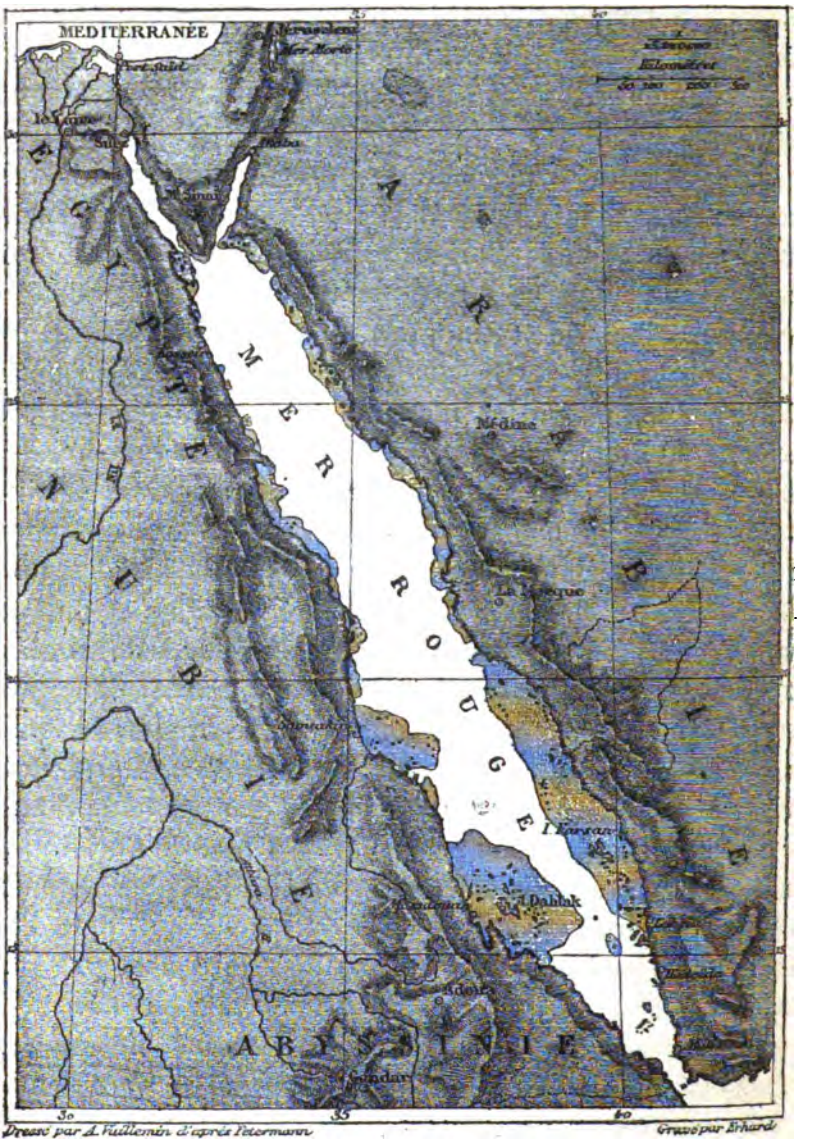
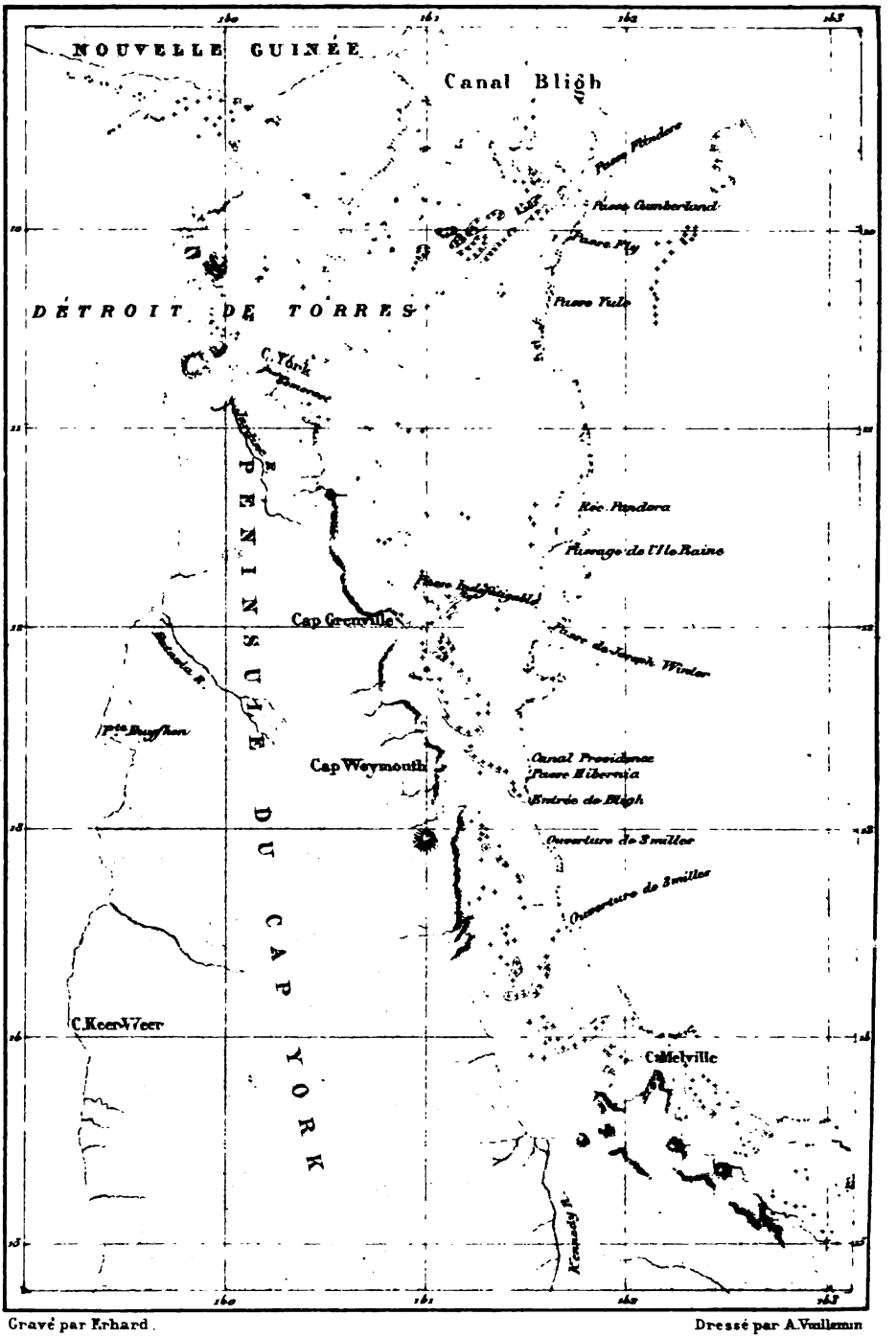


Fig. 183.

de nombreux récifs à doubler, et tout un dédale d'étroits chenaux à suivre avec précaution avant d'entrer dans la mer libre.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

LA GRANDE BARRIÈRE
ET LE DETROIT DE TORRES



Gravé par Erhard.

Dressé par A. Vuillemin

Un isthme d'écueils, large de 200 kilomètres, unit ainsi le continent australien et la grande île de la Nouvelle-Guinée.

Dans l'océan Atlantique, les seules constructions importantes des coraux longent les côtes du Brésil, entre les récifs des Abrolhos et le cap Saint-Roch, frangent les Bahama et bordent quelques rivages de la mer des Caraïbes. La péninsule de la Floride, terre marécageuse qui n'a pour toutes collines que des monticules de sable élevés par le vent, est composée en entier de débris de coraux et de sable calcaire. L'énorme territoire, qui n'a pas moins de 80,000 kilomètres carrés jusqu'aux premiers renflements des hauteurs continentales, est l'œuvre des polypes. Prenant pour fondement de leurs édifices une longue flèche sablonneuse qui s'était probablement formée entre les eaux du Gulf-stream et celles de la haute mer, les animalcules ont construit leurs assises jusqu'à fleur d'eau, puis les vagues ont démoli tous ces récifs, les ont réduits en sable et les ont cimentés en une masse solide avec tous les débris rejetés par la mer[1]. Il est vrai que pour l'œuvre immense les coraux ont pris leur temps. D'après l'Américain Hunt, la période nécessaire aux polypes pour élever de l'est à l'ouest les bancs de la Floride a duré au moins 864,000 années, et pour le développement de la péninsule dans le sens du nord au sud, le temps indispensable n'a certainement pas été moindre de 5,400,000 ans[2]. Actuellement la Floride a cessé de s'accroître à l'est, car de ce côté, sa rive est longée par les eaux profondes du Gulf-stream, et les polypes, qui travaillent seulement dans les couches superficielles de la mer, ne pourraient y enraciner leurs constructions. La presqu'île n'augmente en étendue que sur les rivages occidentaux et du côté du sud. La zone d'activité pour les bâtisseurs s'étend sur une largeur qui n'est pas moindre de 36 kilomètres en certains endroits et qui descend jusqu'à la profondeur de 18 mètres. Autour de cette première zone s'en arrondit une autre plus profonde où travaillent surtout des vers et des mollusques;

1. Agassiz, *Coast-survey Report*, 1861.
2. Silliman's *American Journal*. March, 1864.

enfin, au large, le plateau de 100 à 450 mètres de profondeur qui borde les abimes océaniques, se forme graduellemen des débris d'animalcules calcaires appartenant à des espèce

LES KEYS.

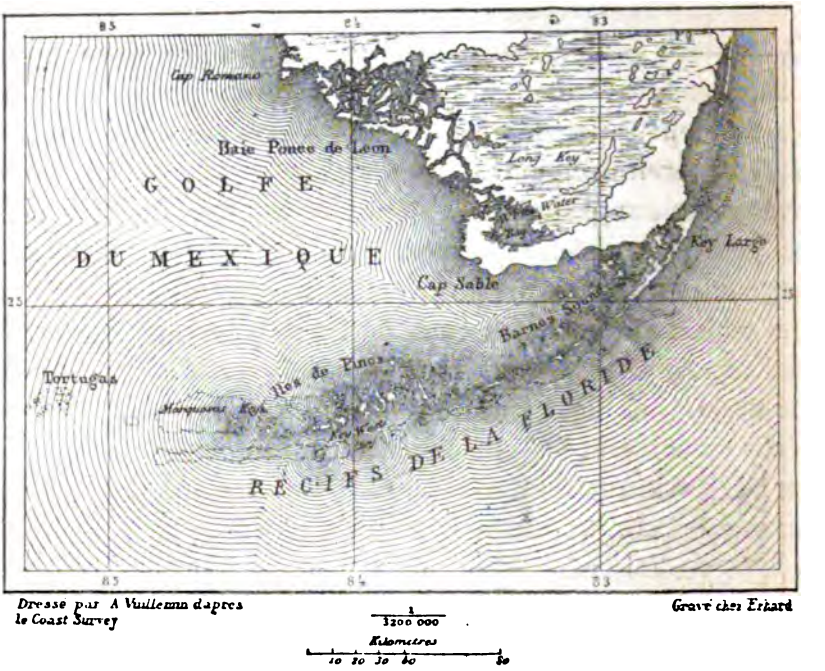


Fig. 184.

qui n'existent pas dans le voisinage de la surface marine et qui rappellent des époques géologiques depuis longtemps disparues[1].

Ainsi que l'ont démontré les explorations d'Agassiz et de plusieurs officiers de la marine américaine, la pointe méridionale de la Floride offre dans sa formation le remarquable phénomène de rivages concentriques. Au loin, dans la mer et sur le bord même du lit que remplissent les eaux du Gulf-stream avant de s'échapper par le canal de Bahama, se déploie une rangée semi-circulaire d'écueils, qui, çà et là, sont arrivés à

1. Agassiz, *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, at Harvard College*, 1869.

fleur d'eau, mais qui sont encore, sur presque toute leur étendue, en cours de construction : c'est le rivage futur de la péninsule. En dedans de cette première rangée de récifs, révélée seulement par les brisants et par quelques rochers, s'étend

ARCHIPEL DES BAHAMA.

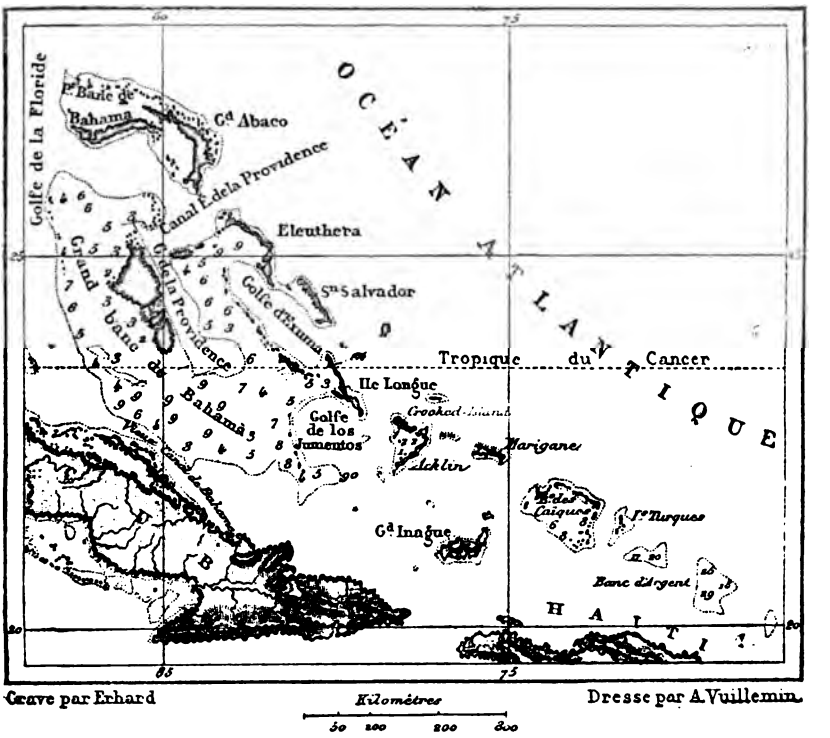


Fig. 185.

la longue courbe des *keys* ou *cayos*, composée d'îles, d'îlots, de rochers formant une ligne presque continue, qui est déjà, pour ainsi dire, le vrai rivage : c'est à sa pointe extrême qu'on a bâti en sentinelle le grand fort de Key-West, l'un des entrepôts militaires et en même temps l'une des stations maritimes et commerciales les plus importantes du monde. Derrière cet abri de la rangée des keys, à une distance moyenne d'une quinzaine de kilomètres, s'arrondit la côte ferme, composée, comme les récifs extérieurs, de débris coralligènes; puis, au loin dans l'intérieur, séparés les uns des autres par des ma-

rais et des terres basses, le géologue retrouve encore d'anciens rivages; c'étaient les récifs battus des flots, il y a deux

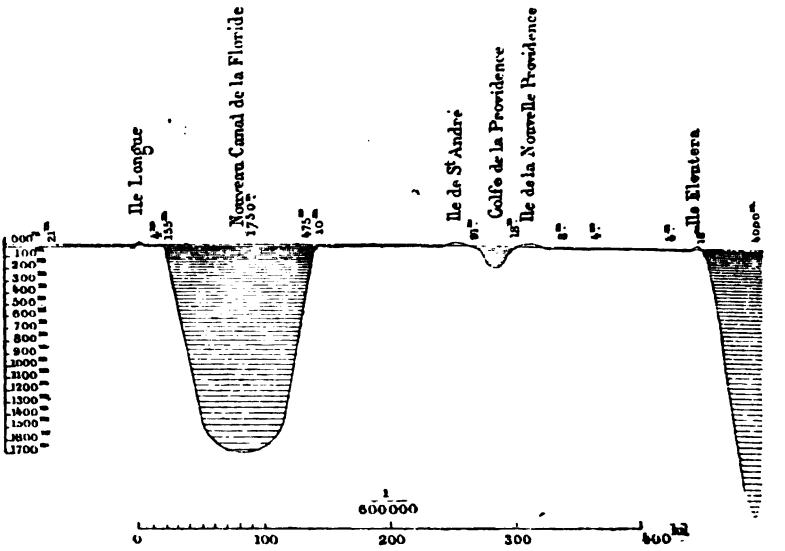


Fig. 186. — Profil en travers des îles de Bahama.

ou trois cents siècles, à une époque où la côte actuelle n'était qu'une série d'îlots à fleur d'eau.

Les îles Bahama, qui sont également des édifices bâtis par les coraux sur les bas-fonds de la mer, présentent, comme la Floride, une sorte de façade brusquement coupée à l'est par les abîmes du large; c'est à l'ouest, dans les eaux tranquilles des grands bancs, que s'amassent les débris organiques et les boues qui, tôt ou tard, feront de l'archipel la plus grande des Antilles. Du côté de la haute mer, les îles, développées en un arc de cercle très-allongé, dont la forme rappelle celle d'un hameçon, ressemblent uniformément à des atolls incomplets; les madrépores, les astrées, les caryophyllées, aimant à travailler au choc des grandes vagues du large, ne peuvent, en effet, terminer leurs constructions que du côté où les frappe la houle et ne se bâtissent point de murs annulaires semblables à ceux qui se dressent au milieu des eaux du Paci-

fique. Par contre, le long des côtes de la Mosquitie et du Honduras, parages de la mer des Caraïbes où les vents soufflent de

ILES D'ELEUTHERA ET DE LA NOUVELLE-PROVIDENCE.

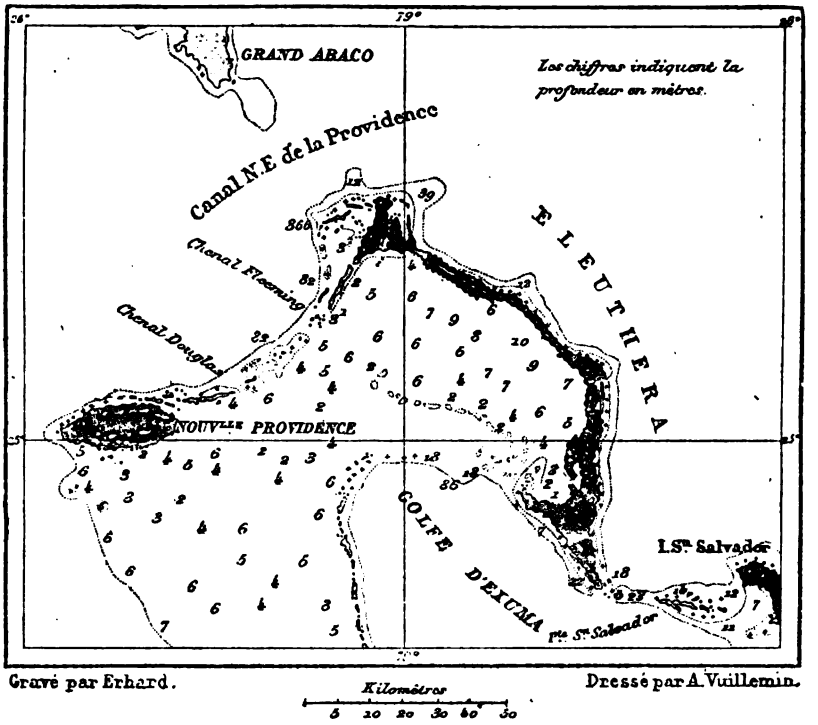


Fig. 187.

divers côtés suivant les saisons, les îles de coraux se développent en cercles parfaitement réguliers.

CHAPITRE III.

LA TERRE ET L'HOMME.

I.

Influence de la nature sur les destinées de l'humanité. — Ancienneté de l'homme sur la terre. — Monogénistes et polygénistes. — Fusion des races humaines.

L'homme ne vit pas seulement sur le sol, il naît aussi de la terre; il en est le fils, ainsi que le disent toutes les mythologies des peuples. Nous sommes de la poussière, de l'eau, de l'air organisés, et que nous ayons germé dans le limon du Nil, que nous soyons sortis des éclats d'un chêne, que nous ayons été pétris de la terre rouge de l'Euphrate ou des alluvions sacrées du Gange, nous n'en sommes pas moins les enfants de la « mère bienfaisante », comme le sont les arbres de la forêt et les roseaux des fleuves. C'est d'elle que nous tirons notre substance; elle nous entretient de ses sucs nourriciers, fournit l'air à nos poumons et nous donne « la vie, le mouvement et l'être ». Il est donc impossible que les formes terrestres, avec lesquelles la flore et la faune s'harmonisent d'une manière si admirable, ne se reflètent pas également dans les phénomènes vitaux de cette autre faune qu'on appelle l'humanité.

Tous les organismes existant à la surface de la terre peuvent, il est vrai, réagir d'autant plus contre la nature et franchir la limite fixée par les divers climats, que leur vie propre est plus intense. Les plantes et les animaux font effort pour élargir leur domaine, et, d'espèce à espèce, luttent incessamment pour la possession du sol. Grâce à leur force vitale, les tribus les plus énergiques l'emportent et se propagent sur de

vastes pays dont les conditions géologiques et climatériques sont très-variées; mais, en dépassant les frontières de leur sol natal, les types dépérissent ou se modifient sous l'influence des milieux. L'harmonie entre la terre et ses produits n'est troublée que pour se rétablir peu à peu, conformément aux lois qui régissent tous les phénomènes planétaires. Même en faisant acte d'énergie propre, autant que le comportent les limites de leur vie, les faunes et les flores spéciales ne font qu'ajouter à l'accord magnifique de la terre et de tout ce qui germe et se développe à sa surface.

L'homme, cet « être raisonnable » qui aime tant à vanter son libre arbitre, ne peut néanmoins se rendre indépendant des climats et des conditions physiques de la contrée qu'il habite. Notre liberté, dans nos rapports avec la terre, consiste à en reconnaître les lois pour y conformer notre existence. Quelle que soit la relative facilité d'allures que nous ont conquise notre intelligence et notre volonté propres, nous n'en restons pas moins des produits de la planète : attachés à sa surface comme d'imperceptibles animalcules, nous sommes emportés dans tous ses mouvements et nous dépendons de toutes ses lois. Et ce n'est point seulement en qualité d'individus isolés que nous appartenons à la terre; les sociétés, prises dans leur ensemble, ont dû nécessairement se mouler à leur origine sur le sol qui les portait; elles ont dû refléter dans leur organisation intime les innombrables phénomènes du relief continental, des eaux fluviales et maritimes, de l'atmosphère ambiante. Tous les faits primitifs de l'histoire s'expliquent par la disposition du théâtre géographique sur lequel ils se sont produits : on peut même dire que le développement de l'humanité était inscrit d'avance en caractères grandioses sur les plateaux, les vallées et les rivages de nos continents.

Il ne s'agit point d'ailleurs d'un parallélisme géométrique entre les phénomènes de la nature et les événements de l'histoire. La ressemblance entre les horizons et les faits n'est point absolue comme le serait l'image d'un objet reflété dans une glace. Non, l'accord qui s'établit entre le globe et ses habitants se compose à la fois d'analogies et de contrastes;

comme toutes les harmonies des corps organisés, il provient de la lutte aussi bien que de l'union et ne cesse d'osciller autour d'un centre de gravité changeant. Les forces à l'œuvre à la surface et dans le sein de la terre ne s'arrêtent jamais, ainsi que le témoignent les phénomènes géologiques; de même l'homme réagit incessamment contre la planète qui lui sert de demeure : après s'être laissé bercer par la nature durant les siècles de la sauvagerie primitive, il s'est graduellement émancipé; maintenant il s'efforce de s'approprier les énergies de la terre, de les faire siennes, pour ainsi dire. C'est de l'action de la planète sur l'homme et de la réaction de l'homme sur la planète que naît cette harmonie qui est l'histoire de la race humaine. D'ailleurs ces vérités sont devenues presque banales depuis que les Humboldt, les Ritter, les Guyot ont établi par leurs travaux la solidarité de la terre et de l'homme. L'idée mère qui inspirait l'illustre auteur de l'*Erdkunde* lorsqu'il rédigeait à lui seul sa grande encyclopédie, qui est encore aujourd'hui le plus beau monument géographique des siècles, est que la terre constitue le corps de l'humanité, et que l'homme, à son tour, est l'âme de la terre. Sans nous approprier aussi orgueilleusement le globe qui nous porte, il nous est permis de dire qu'après avoir été longtemps pour lui de simples produits à peine conscients, nous devenons des agents de plus en en plus actifs dans son histoire.

Il est désormais prouvé que l'homme existe sur la terre depuis une époque très-reculée. Les documents écrits ne nous ramènent qu'à trois ou quatre mille ans en arrière; les restes les plus anciens des édifices bâtis à une époque antérieure, et qui sont aussi des archives de pierre, datent peut-être de vingt siècles auparavant; mais par delà cette bien courte période historique, comprenant à peine la durée de cent cinquante générations successives, s'étend la période, certainement beaucoup plus longue, de la tradition pure. Alors l'humanité, naissant à la conscience d'elle-même, rattachait les siècles aux siècles par les légendes, les hymnes, les formules symboliques : les souvenirs des grands événements, migrations, guerres de races, alliances, exterminations, conquêtes du travail, s'incor-

poraient dans la religion même et, sous une forme de plus en plus altérée, se transmettaient d'âge en âge comme l'héritage des peuples. Plus anciennement encore, dans le lointain inconnu des temps, nos ancêtres vivaient de la vie des bêtes fauves dans les forêts et les cavernes. La tradition, non moins que l'histoire, est muette sur cette période de la race humaine; mais les assises de la terre, interrogées de nos jours par les anthropologistes et les géologues, commencent à nous révéler à la fois l'existence et les mœurs de ces aïeux, naguère inconnus.

Sans parler de trouvailles faites à diverses époques, alors que la science, timide encore, se refusait à reconnaître l'ancienneté de l'homme, tant de débris humains, tant de produits de l'industrie primitive ont été découverts dans les derniers temps, qu'il ne reste plus de doute relativement à la longue durée de notre espèce. Non-seulement nos barbares aïeux habitaient les forêts en même temps que le bœuf urus, refoulé maintenant dans le Caucase et représenté dans quelques parcs d'Europe par de rares individus; mais avant cet âge, ils vivaient aussi pendant la période glaciaire, quand la France et l'Allemagne avaient l'aspect de la Scandinavie actuelle et que les rennes, aujourd'hui relégués dans le voisinage de la zone boréale, parcouraient les glaciers des Alpes et des Pyrénées. Antérieurement encore, à une époque où le climat européen, qui plus tard devait tellement se refroidir, était au contraire beaucoup plus chaud que de nos jours, l'homme des cavernes avait pour contemporaines des espèces de rhinocéros et d'éléphants maintenant disparues, et déjà des artistes, humbles devanciers des Phidias et des Raphaël, s'essayaient à graver sur leurs outils des figurines de femmes et des images de mammouths qui se sont conservés dans l'argile des grottes. Avant cette époque, l'homme se retrouve encore, luttant pour la domination contre un redoutable ennemi, le grand ours des cavernes, dont il nous a laissé également des dessins sur la pierre, et plus loin, dans l'immense profondeur des âges, d'autres restes, ceux des éléphants *antiquus* et *meridionalis*, nous apprennent que nos ancêtres étaient déjà nés durant une période de

la vie terrestre que l'on croyait naguère avoir été séparée de l'époque actuelle par une série de brusques renouvellements. M. Whitney, directeur de l'exploration géologique de la Californie, a découvert des restes de l'homme et des vestiges de son industrie datant certainement d'une période pendant laquelle la vie animale et la flore étaient tout à fait différentes de ce qu'elles sont de nos jours, et depuis laquelle il s'est produit, dans les roches dures et cristallines de la contrée, une érosion verticale de 700 à 1,000 mètres[1]. Combien de milliers d'années ou de siècles se sont écoulés depuis lors? Nul ne peut encore le dire[2].

Par la forme du crâne, les débris humains trouvés aux Eyzies, près des bords de la Vézère, appartenaient à une race qui pourrait encore compter parmi les plus belles; des crânes trouvés par M. Garrigou dans les grottes de l'Ariége, et appartenant peut-être à des peuples de l'époque historique, sont d'une forme très-noble; mais les têtes découvertes à Engis et à la Haulette en Belgique, à Neanderthal dans la Prusse rhénane, à Borreby en Danemark, à Eguisheim en Alsace, démontrent que nombre des anciennes peuplades de l'Europe occidentale étaient de beaucoup inférieures aux populations civilisées de nos jours. Plus agiles peut-être pour courir après une proie et plus forts pour la terrasser, ces représentants des races disparues étaient moins intelligents, moins hommes que nous, et leur angle facial se rapprochait de celui des bêtes fauves qu'ils avaient à combattre pour maintenir leur existence. Ainsi que le remarque M. Huxley, la différence de capacité entre le crâne de l'homme civilisé et celui de l'homme de Neanderthal ou de Borreby dépasse de beaucoup la différence qui existe entre ces anciens crânes humains et ceux des grands singes. Faut-il en conclure avec divers anthropologistes que l'homme descend d'une ou de plusieurs espèces d'anciens quadrumanes ou bien de quelque animal d'un type parallèle graduellement développé par la

1. *Bulletin de la Société de Géologie*, 1870, p. 676.
2. Boucher de Perthes, Lartet, Christie, Lyell, Lubbock, Garrigou, Broca, etc.

sélection et par la lutte de la vie pendant la longue durée des âges? C'est là une théorie qui, loin d'être humiliante pour l'homme, serait au contraire de nature à l'enorgueillir : nos immenses progrès justifieraient un immense espoir. Toutefois, si les hypothèses sérieuses sont bonnes à émettre et à discuter, il faut bien se garder de les admettre comme vérité démontrée aussi longtemps que les témoignages directs n'ont pas encore définitivement prononcé.

Puisqu'on est encore forcément dans le doute au sujet de l'origine même de l'humanité, il est évidemment impossible de savoir si les diverses races de la terre descendent d'un seul couple ou de plusieurs groupes primitifs. Avons-nous tous, noirs et blancs, rouges et cuivrés, le même Adam pour aïeul et la même Héva pour mère commune? Ou bien chaque masse continentale, chaque terre isolée a-t-elle produit des races autochthones, distinctes de toutes les autres, comme elle avait déjà produit sa flore et sa faune particulières? Bien que cette question soit encore insoluble, aucune n'est plus discutée par les anthropologistes. Pour les uns, l'unité primitive de la race est un fait incontestable, qu'on ne saurait nier sans commettre une sorte d'attentat contre la majesté humaine; d'autres pensent qu'il y aurait eu trois, quatre, cinq, dix, quinze groupes primitifs; il en est aussi qui parlent de centaines de races diverses surgissant çà et là et à différentes époques sur les continents et les îles, comme des plantes dont les graines auraient été jetées « à la volée ». A l'appui de cette théorie, ils citent ce fait considérable que les hommes fossiles de l'Europe occidentale présentent, par leurs types, des contrastes beaucoup plus frappants que ceux des races de nos jours.

Du reste, des passions de toute nature, étrangères à la science, se sont mêlées à ce débat. Lorsque la république américaine avait encore le malheur de compter, à côté de ses trente millions de citoyens blancs, les plus libres de l'univers, quatre millions de noirs condamnés à la servitude la plus atroce, esclavagistes et abolitionistes se combattaient à outrance en langage scientifique; ils affirmaient la communauté ou la diversité d'origine uniquement pour justifier ou

pour maudire l'esclavage. Même parmi ceux qui croyaient par tradition à l'unité première de la race humaine, plusieurs affirmaient, en haine des noirs, que cette unité s'était brisée pendant le cours des âges, et que les fils de l'esclave étaient voués à jamais au fouet et au carcan. La certitude scientifique n'est point sortie de ces assauts provoqués par les intérêts et les passions en lutte, et l'origine de notre race n'en reste pas moins inconnue. C'est là ce qu'expriment naïvement la plupart des mythes, en racontant que la vie des premiers hommes a commencé par le sommeil. « Rien n'existait, disent les vieillards d'une tribu indienne; tout était vide et néant; il n'y avait ni ciel, ni terre, ni mer, ni rivage. Tout à coup sept guerriers se trouvent assis sur le bord d'un lac, fumant le calumet de paix, et déjà les femmes travaillent dans les wigwams. » Aucune légende ne fait mieux comprendre que l'humanité a passé son enfance comme dans un rêve; elle a commencé par vivre sans le savoir.

D'ailleurs, il importe peu que les hommes descendent d'un seul ou de plusieurs couples d'ancêtres; il importe peu que les races si diverses aient toutes été procréées par une même famille, ou qu'elles soient nées en différentes contrées et à différentes époques, pourvu que cette unité, douteuse dans le passé, arrive à se constituer dans l'avenir. Cette future unité est-elle possible? telle est l'une des grandes questions que se posent aujourd'hui les anthropologistes, et nous croyons qu'elle sera bien près d'être résolue quand on s'en tiendra sincèrement aux résultats fournis par l'expérience. D'après quelques savants, les races ne pourraient s'unir entre elles : le noir ne saurait s'allier au blanc d'une manière permanente; le Peau-Rouge, l'insulaire de la mer du Sud, l'Arabe, le Chinois lui-même, n'entreraient jamais dans la grande famille des peuples frères; bien plus, l'Hindou, non moins Aryen par l'origine que l'Européen de l'Occident et son précurseur dans les sciences et les arts, serait condamné à rester désormais à l'écart des orgueilleux parvenus celtes et germains, sans renouer les antiques liens de parenté. Suivant cette théorie, énoncée par les uns d'une manière absolue, plus ou moins

adoucie par d'autres, les enfants issus de toute union entre races différentes seraient des hybrides destinés à périr par la stérilité ou à produire des générations successives dont le type spécial, s'affaiblissant peu à peu, finirait par reproduire simplement celui de l'une des deux races mères. Chose bien plus triste encore ! certaines peuplades inférieures, tout à fait incapables de s'unir aux maîtres du monde, ou même de respirer la même atmosphère, n'auraient plus qu'à mourir : la terre ne serait pas assez grande pour eux et pour les hommes de la race victorieuse !

Il est vrai, nombre de maladies arrivées dans le cortége des Européens ont décimé les indigènes, principalement les Peaux-Rouges et les Polynésiens. Bien plus, le soi-disant civilisé a souvent cru prouver sa supériorité sur les autres races par une destruction sans merci : il les a chassées, comme le gibier, soit pour leur prendre la terre, des bijoux ou des armes, soit pour s'en faire des esclaves, soit tout simplement pour avoir le plaisir de goûter le meurtre en grand. C'est par millions et par millions qu'il faut évaluer le nombre des victimes sacrifiées ainsi pendant les quatre derniers siècles, et des peuplades, des nations même, ont complétemeut disparu. Il est facile de comprendre que, dans ce massacre immense, la fusion des races ne pouvait s'accomplir. Toutefois, si les Européens, au lieu d'arriver en exterminateurs et de faire la place nette devant eux, n'avaient pas été des barbares eux-mêmes pour la plupart, s'ils avaient tenu à montrer leur noblesse native en se présentant comme des amis, comme des êtres bienveillants et justes, croit-on qu'ils n'auraient pas su se faire comprendre bientôt, et que l'union n'eût pas été facilitée entre les races distinctes ? Sur tous les points du monde, la compréhension commune de ce qui est juste et bon eût singulièrement diminué les dangers, matériels et moraux, provenant de la rencontre soudaine. Mais, s'il était vrai que les mélanges entre les races diverses peuvent former seulement des hybrides inféconds, eh bien, l'humanité serait condamnée à mort, et à une mort rapide, car les peuples, les races se confondent de plus en plus, les frontières des patries

disparaissent, et de croisements en croisements tous les hommes finissent par entrer dans la même famille.

Malgré les terribles conflits, malgré les exterminations en masse, malgré l'esclavage, toute l'Amérique du Sud, les républiques de l'Amérique centrale, les Antilles, une partie des États-Unis, sont peuplées maintenant d'une race mixte, où se trouvent mêlés les blancs, les noirs, les rouges. Dans ce monde que nous appelons nouveau, ne s'est-il pas formé de nouveaux peuples, dont le type ne se confond nullement avec celui de l'une ou l'autre des races productrices et leur appartient bien en propre? Toutes ces populations, qui tiennent à la fois de l'Européen par l'intelligence et l'idéal, de l'Indien par l'indomptable esprit de résistance, de l'Africain par l'enthousiasme et le tendre génie, ne sont-elles pas une preuve vivante que les races humaines peuvent bien s'unir en une seule race, malgré la différence des origines? Si les types restaient immobiles jadis, c'était à cause de l'immobilité des peuples; mais sous l'influence des changements rapides, des voyages incessants, des éléments divers apportés par l'émigration, des croisements entre familles, de la modification des climats produite par la culture, ces types, devenus plus mobiles, se fondent et s'unissent. L'Égyptien de nos jours est bien, avec de légères modifications signalées par Brugsch, celui que l'on voit esclave et courbé sur les faces des obélisques et les piédestaux des statues; mais aucune peinture, aucun trait gravé sur la pierre ou sur le métal ne nous a révélé d'avance la figure du *Yankee* ou de l'Hispano-Américain.

II.

Influence des climats. — Zone tropicale. — Zone glaciale. — Zone tempérée.

Énumérant les divers agents naturels qui devaient travailler avec le plus de puissance dans un sens ou dans un

autre à modeler l'humanité naissante, Buckle[1] met en première ligne le climat et désigne ensuite, par ordre d'importance, la nourriture, le sol et l'aspect général de la contrée. Toutefois ce classement n'a qu'une valeur toute relative et devrait être modifié suivant les diverses contrées. Ainsi pour le Puel-che et le Pehuen-che des plaines de la Patagonie la nourriture exclusivement animale doit être un agent dépassant tous les autres en énergie; le froid terrible de l'hiver exerce sur le Lapon l'influence la plus décisive: le genre de vie, le caractère et les mœurs de l'habitant des déserts ou du marin sont déterminés surtout par l'aspect des sables et celui de l'Océan.

Les nombreuses conditions du milieu se mêlant avec la plus grande diversité dans les différents pays du monde, c'est d'une manière tout à fait générale seulement qu'il est possible d'en indiquer l'influence sur les populations. Dans la zone tropicale, le contraste est complet entre les déserts sans eau, sans verdure, et les terres exubérantes où, tour à tour, le soleil lance ses rayons comme des flammes et les nuages déversent leurs pluies en cataractes. La vie est rapide dans ces climats, où l'hivernage succède à des chaleurs torrides; elle se hâte, et derrière elle la mort se hâte aussi; des arbres gigantesques aspirent par leurs feuilles avides des courants d'acide carbonique et les fixent dans leurs nombreux tissus; les bambous croissent à vue d'œil; les marais se cachent sous des îles d'herbes flottantes. Que l'orage renverse les grands troncs de la forêt, aussitôt de nouvelles plantes germent de l'écorce brisée. Sur cette mort, la vie, toujours infatigable, fait jaillir de jeunes êtres par multitudes. Dans ce climat fécond, où l'air est pénétré de chaleur et saturé d'humidité, les végétaux qui servent à la nourriture de l'homme croissent avec la plus grande abondance. En diverses régions de la zone tropicale, l'homme n'a, pour trouver à vivre, qu'à secouer les branches de l'arbre ou à retirer les racines du sol. Ses besoins sont presque nuls et la vie

1. *History of Civilization.*

lui est si facile qu'il y tient à peine ; il ne doit pas la gagner à force de travail, mais elle vient au-devant de lui, et il la méprise presque de ce qu'elle lui offre si généreusement ses faveurs. Aussi meurt-il sans regret et on l'oublie bientôt quand il a fermé ses yeux pour toujours. De soudaines épidémies passent sur les habitants du pays comme des nuages de tempête sur une forêt; parfois même la famine emporte des populations qui n'ont pas su mettre en réserve contre les mauvaises chances de l'avenir les ressources que leur offrait la nature. Mais qu'importe d'ailleurs la mort d'un homme ou celle de tribus entières? Les enfants remplacent en foule ceux qui viennent de disparaître et poussent comme l'herbe d'une prairie où la faux vient de passer. La douceur du climat, la fécondité du sol, l'exubérance de la vie, la promptitude de la mort, contribuent également à maintenir l'homme dans son insouciance et sa paresse native. Sans oser réagir, il s'incline en silence devant la majesté de la puissante nature. Celle-ci est trop terrible dans ses violences, trop fougueuse dans sa vie, trop régulière dans les grandes alternatives de son cours, pour que l'être faible placé sur son sein ne s'en fasse pas l'esclave. Il l'adorera dans tous ses phénomènes, dans les rayons du soleil, parce qu'ils brûlent et tuent ; dans les nuages, parce qu'ils roulent le tonnerre; dans la forêt sombre, parce qu'elle cache les serpents et les tigres ; dans tout ce qui l'entoure, parce que tout vit d'une vie puissante et peut lui donner la mort. L'immense travail qui s'accomplit sans cesse autour de lui l'empêchera de travailler lui-même ; il ne pense guère, mais quand il s'élève, comme l'Hindou, jusqu'à la réflexion et à la contemplation des lois de la nature, ses idées ont quelque chose de profond et d'immuable comme les lois qu'elles reflètent.

Si la riche nature des tropiques, à cause de sa richesse même, n'est pas la plus favorable aux progrès de l'humanité, si même dans certaines régions marécageuses ou couvertes de sables, elle est restée inhabitable jusqu'à ce jour, la zone glaciale est encore bien moins faite pour être peuplée de nations prospères. De rares peuplades seulement se sont égarées dans

les solitudes de ces contrées, et luttent péniblement contre le climat pour lui arracher chaque jour de leur dure existence. Ne pouvant guère pénétrer dans l'intérieur des îles et des terres continentales, à cause des glaciers et du manque de végétation, ils construisent leurs huttes de bois ou de neige au bord de l'Océan. Là du moins, les vents apportent en été quelques bouffées d'un air équatorial, les contre-courants poussent sur la rive des eaux venues des tropiques et qui n'ont pas encore perdu entièrement leur chaleur primitive; enfin, quand la tempête n'agite pas la mer et que la surface liquide n'est pas recouverte de bancs de glace épars, le pêcheur peut se hasarder dans sa barque de cuir à la poursuite des phoques et des poissons. Quand il a foré de son harpon les animaux qui doivent servir de nourriture à sa famille, il revient dans le trou noir qui lui sert de tanière, et c'est là qu'il passe, en se chauffant à la flamme d'une lampe, cette longue nuit d'hiver qui semble ne devoir jamais finir, car le soleil même, le foyer de la vie terrestre, abandonne la zone glaciale pendant des semaines et des mois, et l'aurore polaire, qui remplace l'astre par intervalles, n'envoie qu'une lueur livide, véritable fantôme du jour. La vie est difficile durant ce long et ténébreux hiver; aussi la famine sévit souvent parmi ces peuplades, et parfois des tribus ont disparu sans laisser trace de leur passage. Comment l'esprit des Groenlandais, des Esquimaux et des Kamtchadales ne subirait-il pas l'influence du climat désolé des régions polaires? Tous les voyageurs racontent que les plus simples plaisirs suffisent pour remplir de joie ces êtres naïfs dont la vie est si monotone; dans leur lutte pour l'existence, ils ne sont point ambitieux, car la grande chose est de se nourrir, et le sol est trop rebelle à la culture, le climat trop inclément pour qu'il puissent réagir contre la terre et tenter de se l'approprier; ils sont aimants et doux, car, dans leur hutte de neige, la famille est pour eux tout l'univers; ils sont attachés à leur patrie et meurent quand ils sont obligés de la quitter, parce que leurs idées sont uniformes comme le pays dans lequel ils sont nés, et que là seulement ils peuvent ressentir ces joies simples et ces plaisirs tranquilles qui les reposent de

leurs fatigues. Parmi les peuples, ce sont encore des enfants. Ils périssent quand on les arrache du sein de leur mère.

Quant aux deux zones tempérées, et surtout à celle qui s'étend dans l'hémisphère boréal, ce sont les parties de la surface planétaire qui ont le plus favorisé le développement de la race humaine, et lorsque les peuples plus ou moins civilisés de l'Europe occidentale et de l'Amérique du Nord attribuent orgueilleusement à leur vertu propre les grands progrès accomplis par eux, ils oublient la part immense qui en revient à leur heureux climat.

Le caractère distinctif de la zone tempérée est l'alternative égale et périodique des saisons de chaleur et de froid. Tandis que vers l'équateur la température moyenne n'oscille que faiblement, et que, dans la zone glaciale, l'intensité du froid cède à un climat plus doux seulement pendant quelques semaines d'un été très-court, la froidure et la chaleur se succèdent régulièrement l'une à l'autre dans l'espace compris entre les deux zones extrêmes, et forment deux saisons bien tranchées suivant la marche du soleil sur l'écliptique. Les peuples des zones tempérées sont bercés par une puissante marée de climats, dont le flux monte de l'équateur vers les pôles pendant le printemps et l'été, et dont le reflux descend des pôles vers l'équateur pendant l'automne et l'hiver. Les extrêmes de température sont toujours séparés par de grands intervalles de semaines et de mois, et c'est par gradations successives que se manifeste l'influence des climats contraires. La nature de la zone tempérée revêt tour à tour l'aspect de la joie et celui de la mélancolie : pendant la saison des chaleurs, la terre est gaie et souriante, elle se couvre de fleurs et de feuillage, elle remplit l'atmosphère de ses parfums, absorbe en abondance ces rayons de chaleur et de lumière qui lui descendent du soleil; en hiver, presque toute la verdure est flétrie, les arbres dessinent sur le ciel les lignes délicates de leurs rameaux desséchés, et souvent le sol se recouvre de neige comme pour s'isoler de l'air extérieur et préparer dans le silence et le recueillement les germes de vie qui doivent s'épanouir à la saison du renouveau.

Cette périodicité des saisons ne s'opère pas d'une manière assez brusque pour que l'organisme de l'homme en souffre, si ce n'est lorsque la maladie le mine déjà. Les mois, les semaines et les jours accomplissent leur ronde autour de l'année d'un pas harmonieux et cadencé, et l'être qu'ils emportent avec eux se laisse entraîner sans peine par leur mouvement; pendant l'espace d'une année, il passe à travers les climats les plus divers, il contemple des paysages toujours nouveaux, il voit tour à tour la nature des tropiques et celle des pôles osciller autour de lui. Les scènes qui se succèdent de saison en saison sont pour son corps et pour son intelligence ce que seraient des voyages de plusieurs centaines de lieues : il se déplace pour ainsi dire incessamment à la surface de la planète. La nature se montre à lui dans la beauté qu'elle revêt sous tous les climats, sans offrir, si ce n'est bien rarement, le terrible aspect qu'elle présente dans la zone des ouragans et dans celle des neiges sans limites. Aussi l'habitant des contrées à climat régulier prend-il lui-même un certain rhythme d'allures et d'habitudes qui peut facilement dégénérer en routine, comme chez le paysan français. Par contre les peuples de la zone tempérée pour lesquels la succession des saisons offre un contraste trop brusque montrent une certaine instabilité de caractère et de soudaines passions. Tels sont, dit Buckle, les Portugais et les Espagnols, que la chaleur de l'été oblige à l'interruption du travail des champs, et, de l'autre côté de l'Europe, les Suédois et les Norvégiens, que le froid de l'hiver force à garder leurs demeures[1]. De même l'impatiente mobilité des Américains du Nord devrait être en grande partie attribuée aux écarts trop violents des saisons[2].

La diversité des phénomènes des climats et la manière paisible dont ils se suivent en général dans la zone tempérée en ont fait le domaine par excellence de l'humanité. La vie de l'homme se développe mieux que partout ailleurs dans ces régions où le travail de la nature s'accomplit à la fois avec

1. *History of Civilization.*
2. Coan, *Putnam's Magazine,* March, 1870.

énergie et régularité, où les forces venues de l'équateur et celles qui sont nées au pôle se pénètrent les unes les autres, accroissent par le mélange le nombre de leurs phénomènes et néanmoins atténuent mutuellement la violence de leur action. Par suite de l'oscillation régulière de leur zone de contact, ces forces réalisent à la fois le mouvement et l'équilibre; l'homme, qui a reçu d'elles le souffle de la vie, peut, en en contemplant les alternatives, voir l'immuable éternité des lois et l'apparence toujours diverse des faits qui en dérivent. Chose bien plus importante encore, il est incessamment sollicité au travail, car si la nature des régions tempérées est

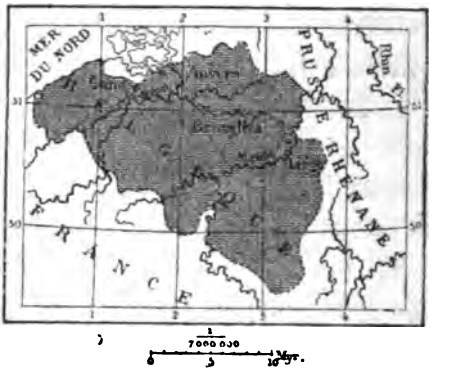


Fig. 188. — Densité de la population en Belgique.

généreuse, elle l'est avec mesure et seulement pour ceux qui l'étudient et la comprennent. Dès le printemps, il faut cultiver le sol en prévision de l'hiver, et chaque saison doit préparer celle qui suit. Confiant dans la terre bienfaisante, le laboureur apprend à se priver du grain, qui est son existence même, pour voir un jour se lever toute une moisson; par d'incessants et victorieux efforts, il gagne en sagacité, en intelligence, en gaieté, en amour de la vie.

Aussi, dans toutes les contrées de la zone tempérée dont le sol est fertile, bien arrosé, salubre et pourvu de débouchés faciles, de nombreuses populations n'ont pas manqué de s'agglomérer, en dépit des guerres, des tueries, des invasions, qu'y ont si fréquemment suscitées les ambitions rivales. L'espace de 3,300 kilomètres de large compris entre le 25e et

le 55e degré de latitude septentrionale, espace qui n'est pas même le tiers de la surface terrestre émergée, contient les deux tiers de la population du globe, et c'est là que de nos jours le nombre des habitants s'accroît encore avec le plus de rapidité. En Asie, c'est dans la partie médiane des régions tempérées que se trouve cette riche « Fleur du Milieu » qui renferme à elle seule plus du quart de la race humaine; à l'autre extrémité de l'ancien monde, c'est également vers le milieu de la même zone, en Belgique, en Angleterre, dans la

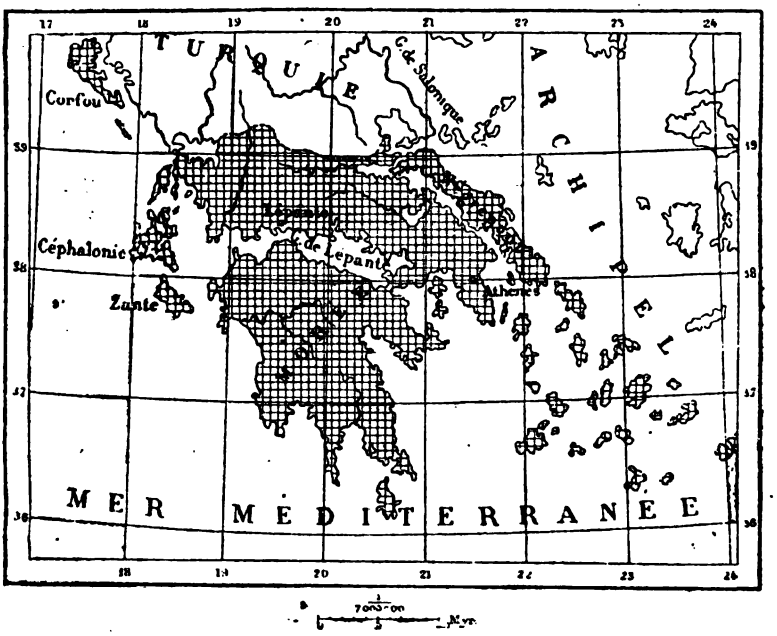


Fig. 189. — Densité de la population en Grèce.

France septentrionale, que les fourmilières d'hommes se sont le plus rapprochées les unes des autres. La Belgique, le pays qui a la plus forte population relative du monde entier, a près de deux habitants par hectare, au moins vingt fois plus que le reste de la surface continentale. La Grèce, qui est l'une des contrées les moins populeuses de l'Europe tempérée, est encore en proportion trois fois plus fortement habitée que ne l'est dans son ensemble la surface émergée des terres. On peut figurer la population comparée des deux pays par les deux

cartes précédentes, où, d'après un système un peu différent de celui de M. Minard, la densité des habitants est, pour une même surface, proportionnelle au nombre de carrés.

III.

Influence du relief terrestre sur l'humanité. — Les plateaux, les montagnes, les collines et les plaines.

Les inégalités du relief continental modifient les climats sur le pourtour du globe, et par suite modifient en même temps de la manière la plus diverse les destinées des peuples. Au lieu de se succéder avec régularité de l'équateur aux pôles, suivant les latitudes, les zones de température s'entrecroisent et se superposent; le milieu change çà et là brusquement, et avec le milieu les populations elles-mêmes.

Dans le puissant édifice des continents, ce sont les plateaux qui ont le plus d'importance pour l'histoire de l'humanité. Se dressant au milieu des plaines avec tout un système particulier de montagnes, de fleuves et de lacs, avec une flore et une faune qui leur appartiennent en propre, avec un climat spécial, toujours plus froid et d'ordinaire beaucoup plus sec que celui des terres basses, les plateaux sont pour les peuples les plus fortes barrières, car les grands océans, jadis infranchissables, sont à présent traversés facilement par les navires, et dans les contrées qui se font face de l'un à l'autre rivage, s'établissent des populations de même origine et de plus en plus rapprochées par les voyages et le commerce. Les plateaux des régions froides ou tempérées ne sont pas seulement des limites entre les nations, nombre d'entre eux sont même complétement déserts à cause de l'aridité du sol et de la rigueur des saisons. Dans l'Amérique du Sud, ce n'est jamais sans danger que les voyageurs se hasardent sur les plateaux des Andes entre le Chili et la république

Argentine; même en France, les *causses* presque inhabités de Florac, du Lévezou, de la Cavalerie, sont très-dangereux à traverser en hiver, et souvent les voitures y sont restées ensevelies dans la neige. La plupart des plateaux de la zone torride sont également déserts, à cause de la sécheresse de l'air et du sol, ou même à cause des épaisses couches salines qui recouvrent la terre; mais par un contraste remarquable, ce sont aussi des plateaux qui, dans la région des chaleurs extrêmes, sont les pays les plus favorablement situés pour développer les progrès de l'homme. Vastes jardins suspendus qui se dressent dans l'air à 1,000, 2,000 et 2,500 mètres de hauteur, ces plateaux portent sur leurs piliers de marbre ou de granit comme un fragment de la zone tempérée, avec son climat, ses produits, ses peuples relativement prospères. Ainsi le plateau de l'Éthiopie, peuplé d'une race qui se distingue de toutes celles de l'Afrique par son intelligence, sa dignité, sa bravoure et ses progrès, s'élève comme une citadelle énorme entre les déserts de l'ouest, les vallées marécageuses du nord et du sud, et les plages brûlantes de la mer Rouge. De même en Amérique les plateaux péruviens habités des Incas, les hautes terres grenadines où vivaient les Muyscas et autres nations indiennes, les *altos* du Guatemala, l'Anahuac sont à peu près les seules parties du nouveau monde où se sont développées des civilisations originales, fleurs qui n'auraient pu germer sur un autre sol et que le conquérant espagnol a brutalement arrachées. La péninsule du Yucatan eut aussi ses nations policées; mais elle avait également de grands avantages matériels, notamment celui de posséder un sol calcaire toujours sec et salubre.

C'est ainsi que, suivant les latitudes et la configuration des terres environnantes, les plateaux ont une action favorable ou défavorable sur les destinées de l'humanité : ici, dans toute l'Asie centrale notamment, des populations clairsemées et nomades, en quête des sources, des courants d'eau, des prairies verdoyantes, très-fréquemment aussi en course pour des expéditions de meurtre et de pillage; ailleurs, comme dans l'Amérique tropicale, des nations relativement

paisibles, s'occupant d'agriculture, d'industrie, de commerce, développant graduellement leur civilisation autochthone. Tel plateau, le désert de Cobi, par exemple, est inhabitable à cause de la rareté des pluies ; tel autre n'a pu recevoir encore qu'un petit nombre d'hommes à cause des averses qui l'inondent et qui en changent toutes les dépressions en marécages. C'est ainsi que, dans l'Amérique centrale, les hautes terres trop humides de la partie orientale, qui sont pourtant les plus rapprochées de l'Europe colonisatrice, n'ont point reçu d'immigrants ; les plateaux de l'ouest, au contraire, où les pluies tombent avec plus de mesure et de régularité, se couvrent de populations ; c'est là que s'élèvent les villes, que se tracent les routes et s'opère le mouvement du commerce[1].

Les montagnes, elles aussi, exercent des influences bien différentes sur les habitants de leur vallées, suivant la hauteur des terrains occupés, la température et les autres conditions du climat, la nature des roches, l'exposition des pentes et l'abondance de la lumière. Combien grand sous ce rapport est le contraste entre la plupart des vallées italiennes des Alpes centrales et les vallées françaises des massifs du Dauphiné ! Les premières sont inondées de soleil, baignées par les eaux bleues des grands lacs et largement ouvertes sur les plaines verdoyantes de la Lombardie : du haut des promontoires, les villageois contemplent un immense horizon, offrant, comme en un tableau parfait, les oppositions les plus charmantes de terrains et de cultures. Dans le triste Valgodemar, au contraire, dans les sombres vallées du Dévoluy, le montagnard ne voit autour de lui que roches croulantes, escarpements arides, maigres récoltes d'orge ou de pommes de terre produites comme à regret par le sol pierreux. Pendant une partie de l'hiver, le soleil, caché par les hautes montagnes qui se dressent au sud du Valgodemar, décrit sa course journalière sans que les habitants de la vallée en voient autre chose que le pâle reflet sur les cimes lointaines ; et quand ils le revoient enfin aux jours heureux

1. Frantzius, *Zeitschrift*, XVI. 1868.

du printemps, ils le saluent comme un dieu. Le village des Andrieux, tout construit qu'il est dans un bassin de la vallée, reste durant cent jours perdu dans l'ombre au milieu des neiges blafardes : aussi combien grande est la joie quand les prisonniers aux aguets voient le premier rayon se darder en flèche lumineuse par-dessus la crête des monts jaloux! Afin de jouir de la lumière aussitôt qu'il leur est possible, les habitants frileux des Alpes ont presque tous bâti leurs

LE VALGODEMAR.

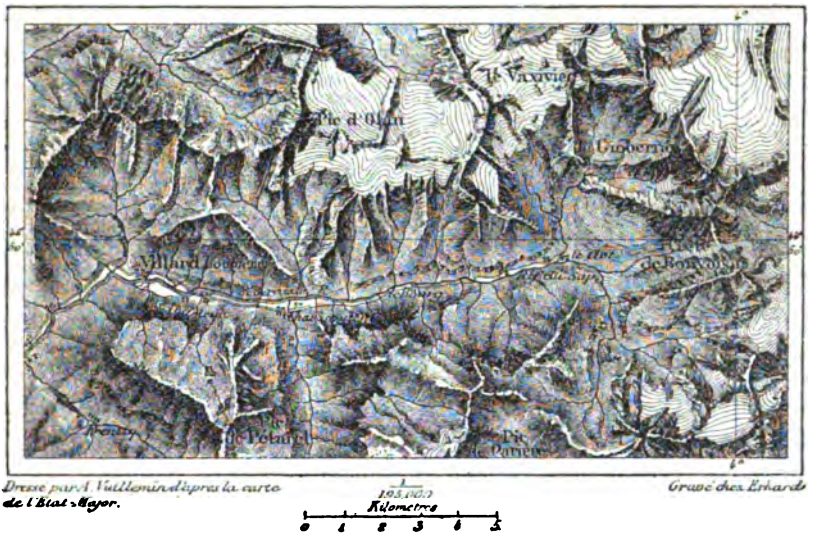


Fig. 190.

chalets sur les versants des pâturages les mieux éclairés par le soleil (fig. 191).

Aux diversités si grandes que présentent le relief et la direction des montagnes, correspondent des contrastes non moins frappants chez les habitants eux-mêmes. Les plus beaux des hommes vivent dans les hautes vallées et sur les flancs du Caucase ; les populations des Alpes sont aussi pour la plupart remarquables de force et de santé, et cependant c'est la Suisse qui, toute proportion gardée, a, dans l'Europe entière, le nombre le plus grand de boiteux et d'autres infirmes. Les crétins s'y comptent par milliers, de même

qu'en Savoie, dans les Pyrénées et presque tous les pays de montagnes. Quelles que soient la cause spéciale ou les circonstances diverses qui prédisposent au crétinisme et à l'infirmité du goître, que ce soit le manque d'aération des

VALLÉE DE LA PLESSUR.

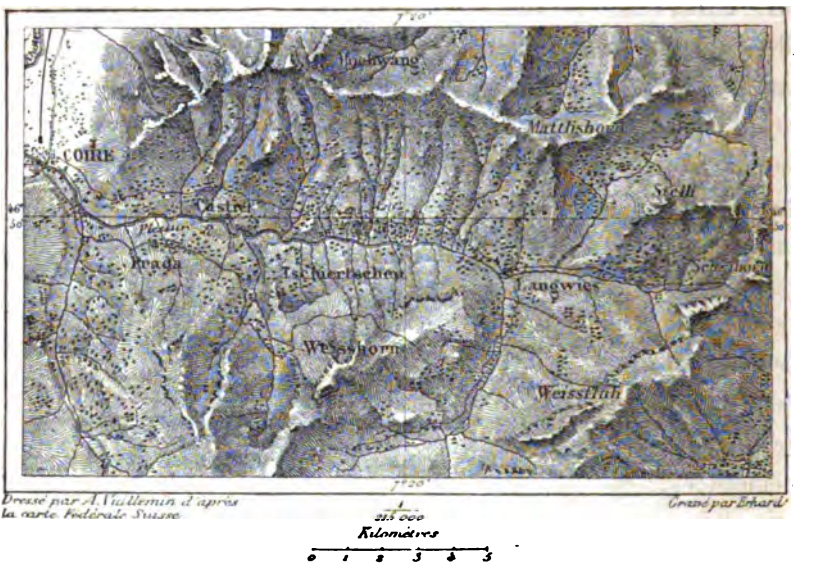


Fig. 191.

sources, l'absence de l'iode dans les eaux potables, la rareté des apparitions du soleil, il est certain que les idiots et les goîtreux se rencontrent bien plus souvent dans les sombres vallées des monts que dans la plaine libre, éclairée du soleil, ouverte à tous les vents, arrosée par les grands fleuves. Naguère encore, tel village de la Savoie, comme Bozel et Villard-Goîtreux, avait au nombre de ses habitants plus d'un tiers de crétins au cou difforme. D'après Caldas, un dixième de la population de la Colombie, vivant à l'étroit entre les escarpements boisés des hautes cimes et les bords du Magdalena, du Cauca, de leurs affluents, seraient placés par cette triste maladie du crétinisme en dehors de l'humanité consciente d'elle-même. Dans les contrées les plus pittoresques vivent les hommes les plus disgraciés de la nature.

Malgré toutes les différences que présentent les peuples montagnards, on peut dire d'une manière générale qu'ils se distinguent par le courage et la solidité. Leur poitrine, enfermant souvent, comme celle des Quichuas, des poumons à cellules plus larges et plus nombreuses que les poumons des habitants des plaines, se gonfle d'un air plus pur[1]; leurs yeux, habitués à regarder du haut des promontoires dans les vallées profondes, à discerner de loin l'animal qui se blottit dans le creux des rochers, sont fiers et brillent d'un éclat perçant; leurs traits sont hardis, leur tête est noblement posée; d'une allure égale et tranquille, d'un pas assuré, ils gravissent les rochers abrupts et, bondissant sur les glaciers, poursuivent les chamois. Ils sont braves, mais pacifiques; de même les animaux qui les accompagnent : leurs chiens ne mordent plus, leurs taureaux ne veulent plus combattre[2]. Leur labeur est des plus pénibles, et c'est par un courage, une persévérance à toute épreuve, qu'ils peuvent conquérir la nourriture nécessaire à la vie. En beaucoup d'endroits, le sol est tellement escarpé qu'il ne leur est même pas possible de se servir d'animaux de labour; ce sont eux qui de leurs mains creusent le sillon, eux qui déposent l'engrais pour recouvrir la semence; souvent ils sont obligés aussi de porter sur leurs épaules la terre nourricière elle-même que les torrents ou les avalanches avaient entraînée dans les bas-fonds. En hiver, ils sont assiégés par les neiges, bloqués dans leurs demeures, et fréquemment ils ne peuvent se rendre de village à village qu'au péril de leur vie. Aussi n'est-il pas étonnant qu'à l'approche des froids, ils songent à s'expatrier pour descendre vers ces plaines dont ils disent avec admiration qu'elles sont « unies comme des planchers ». De chaque vallée des monts d'Auvergne, des Pyrénées, des Alpes, des Apennins, du Caucase, de l'Atlas, sortent chaque année des bandes de montagnards; les uns vont travailler pour les agriculteurs des terres basses; les autres exercent une industrie apprise pendant l'interminable loisir des hivers précédents. Par

1. Alcide d'Orbigny, *Voyage dans l'Amérique méridionale*, t. IV, p. 124.
2. Orton, *the Andes and the Amazon*.

amour pour leur famille lointaine, ils acceptent tous les métiers, se privent de tous les plaisirs, économisent âprement les plus petits gains et s'occupent sans cesse de les accroître. Leur génie est des plus inventifs, et, par une sorte de convention tacite, ils ont su dans toute l'Europe se distribuer la besogne, se partager les industries itinérantes. Parmi eux, les marchands ont chacun leur spécialité. Il en est, comme ceux de Vénosc-en-Oisans, qui portent dans les grandes villes les plantes rares de leurs pâturages ou les minerais de leurs roches; les Ariégeois de Conflens vendent des limes; ceux de Saint-Lizier d'Ustou font danser des ours; les Italiens de Pieve colportent des gravures, des étoffes grossières; il est enfin des montagnards qui se livrent eux-mêmes, ainsi que le faisaient récemment encore des milliers de Suisses, avant que la réprobation du pays se fût attachée à ce vil métier de mercenaire au service de l'ami ou de l'ennemi.

Toutefois, si les montagnards émigrent par bandes aux approches du froid, c'est presque toujours, comme les hirondelles et les cigognes, avec l'intention de revenir. Les villages, presque déserts pendant les mois de neige, se repeuplent au printemps, et le petit marchand de la plaine se remet courageusement au dur travail de la culture sur le maigre sol qui recouvre les rochers. Les hautes cimes sont trop belles, elles lui semblent trop vivantes pour qu'il ne les aime pas, même à son insu, et que, loin d'elles, il ne soit pas toujours désireux de les revoir. Dans les campagnes unies qu'il admirait tant à cause de l'horizontalité du terrain, il se rappelle avec émotion les champs inclinés et pierreux du pays natal, les étroites prairies penchées au bord des précipices, les neiges blanches entassées sur les assises des rocs, les sommets lumineux qui le matin lui envoyaient le premier reflet de l'aube, et le soir s'éclairaient pour lui du dernier rayon lancé par le soleil. Tandis que l'habitant des plateaux uniformes retrouve dans ses migrations une nature semblable à celle qu'il a vue tout enfant, et se plaît à parcourir des espaces illimités sans songer aux steppes où il est né, le montagnard ne peut oublier sa vallée, unique entre toutes; et

lorsqu'il la quitte à jamais, c'est la dure nécessité qui l'y force. Cet attachement au sol est la seule raison pour laquelle les enfants du Caucase, des Alpes, des Pyrénées, si braves pourtant quand il s'agit de défendre la terre où ils sont nés, n'ont jamais fait de conquêtes permanentes dans les contrées voisines. Après chaque victoire, ils rentraient dans leurs étroites patries, séparées les unes des autres par des arêtes transversales de rochers difficiles à franchir, et, tandis qu'ils s'éparpillaient, les vaincus de la plaine se reconstituaient en puissantes agglomérations. Les nations conquérantes par excellence sont celles qui habitent les plateaux monotones ou les terres basses sans horizon. L'empire le plus vaste qui ait jamais existé était celui des Mogols; il s'étendait de la Vistule à la mer Jaune, et de l'océan Glacial à celui des Indes; semblables aux bandes de sauterelles, les hordes, diminuées en route par les batailles et les maladies, n'en marchaient pas moins toujours devant elles, dans leur rage de conquérir l'espace et de massacrer les hommes. Actuellement, n'est-ce pas la Russie qui est la grande puissance envahissante, et se passe-t-il une seule année sans qu'elle ajoute encore le territoire d'une tribu ou quelque fragment de royaume à son immense empire, recouvrant déjà la septième partie de la superficie totale des continents?

En se plaçant à un point de vue tout à fait général, on peut dire que les contrées dont le relief topographique agit de la manière la plus favorable sur les populations qui les habitent, sont les pays doucement accidentés de la zone tempérée, où les vallées, bien arrosées de ruisseaux et de rivières, alternent avec les collines, où les paysages sont beaux, mais non d'une beauté sauvage, où les communications sont naturellement faciles. La plus grande partie de la France, de l'Allemagne, de l'Angleterre, des États-Unis, offre précisément ces conditions, et c'est là une des principales causes des progrès relativement rapides accomplis par les diverses populations de ces contrées. D'ailleurs, dans tous ces pays, où pourtant la race se renouvelle chaque jour par le croisement des familles, où les hommes et les

choses se mêlent sans cesse, où les idées se communiquent promptement de proche en proche, il est facile de remarquer le contraste que présentent les habitants de chaque région, suivant la différence des terrains et des climats locaux. Les populations elles-mêmes ne s'y trompent point et savent toujours indiquer la frontière qui sépare deux régions naturelles. Ainsi, pour ne parler que de la France, on a souvent reconnu que les contours des anciens *pagi* gaulois correspondaient assez exactement aux limites des formations géologiques, et de nos jours la plupart de ces *pagi* se reconstitueraient encore d'eux-mêmes si la centralisation administrative ne s'opposait pas brutalement à l'action des affinités naturelles. Chaque sol a sa race spéciale : le granit a la sienne, les terrains calcaires ont la leur, de même que la région des laves et des cratères éteints, les larges vallées fertiles, la zone des marais et celle des sables. Le nom populaire donné à chaque province s'applique à la fois au sol et à l'homme qui l'habite; il exprime, résume l'ensemble des faits géographiques locaux et dépeint la population elle-même avec ses traits physiques, ses mœurs, ses habitudes, son industrie, son état de civilisation. L'harmonie naturelle entre la terre et le peuple est tellement frappante, qu'en parlant de la Touraine et du Poitou, de l'Auvergne, de la Marche et du Limousin, de la Saintonge et du Périgord, des Landes et de l'Armagnac, on voit apparaître en même temps devant ses yeux les sites de ces contrées et l'image de leurs habitants.

Cette diversité même, ce contraste de province à province, sont un des éléments qui contribuent le plus à la force et à la prospérité d'une nation, pourvu que ces oppositions ne soient pas trop nombreuses, qu'elles ne produisent pas le fractionnement et l'antagonisme à outrance, et qu'elles puissent se fondre dans une unité supérieure. Le granit, le calcaire, le grès, les graviers, les argiles infertiles, les coteaux en pente, les pays de landes et de sables, mêlent leurs influences diverses sur les populations qui les habitent, et corrigent ce qu'il y a de trop monotone dans l'esprit

et dans les mœurs de ceux qui cultivent les grandes plaines fertiles. L'agriculture est, il est vrai, la mère de toutes les civilisations; les laboureurs s'attachent au sol qui produit leur nourriture et celle de leurs enfants; ils détestent la guerre qui vient ravager leurs champs comme l'orage, et brûle leurs chaumières comme le feu du ciel; tenant de la nature du sol qu'ils travaillent, ils sont tenaces, patients et tranquilles; de père en fils et de siècle en siècle, ils opposent à la violence et à la rage une résistance passive qui finit par lasser les volontés les plus énergiques, par vaincre les conquérants les plus orgueilleux; ils luttent contre les éléments mêmes : qu'un orage détruise leur maison, ou que l'inondation l'emporte en passant, ils se condamnent à la famine et s'arrachent le grain nourricier, pour le jeter courageusement dans le sillon trompeur. Ces fortes qualités sont des plus nécessaires pour l'œuvre de formation d'un peuple; mais si les agriculteurs des plaines n'avaient pas à subir diversement l'influence des populations plus remuantes des collines, des plateaux et des rivages maritimes, tout progrès finirait par leur devenir impossible[1]. Aussi réguliers dans leurs habitudes que le sont les saisons dans leur cours annuel, enracinés au sol, pour ainsi dire, comme les plantes qu'ils cultivent, ils n'auraient pour loi que la routine, pour idéal que l'immobilité, pour espoir dans l'avenir que le maintien des choses passées.

IV.

Influence de la mer et des eaux courantes. — Les peuples voyageurs et commerçants. Les îles et les insulaires.

Le mouvement des flots exerce sur presque tous les hommes une étrange force d'attraction, et doit être certai-

1. Voir, ci-dessous, p. 628.

nement compté pour une large part dans le peuplement des rivages. Les sauvages surtout, qui obéissent toujours à leur premier instinct, cèdent à cette fascination des eaux. Dans les îles de la mer du Sud que peuple encore des tribus barbares, le littoral seul est habité, et les villages forment autour des montagnes de l'intérieur une ceinture aussi régulière que celle des bancs de corail. Il est vrai que les insulaires trouvent leur nourriture dans la mer et sur ses bords, et que les plages leur offrent les plus grandes facilités pour les échanges et les communications. Les poissons et les mollusques sans nombre qui peuplent les mers dans le voisinage de la plupart des côtes sont une source abondante de produits où puisent des légions de pêcheurs sans jamais la tarir. Le littoral et les eaux qui le baignent sont les chemins les plus commodes pour les habitants et leur permettent d'aller échanger leurs poissons avec d'autres denrées : c'est là un commencement de commerce, principe de ce mouvement moderne qui se propage dans toutes les directions à travers les terres et les mers pour aller saisir les richesses éparses et les faire circuler de peuple à peuple comme le sang de la vie.

Ces facilités commerciales, qui retiennent les populations encore barbares sur le littoral des îles, doivent à plus forte raison exercer la même influence sur les populations civilisées, toujours avides d'être en rapport les unes avec les autres par les nouvelles et les échanges. Ainsi les petites Antilles et les îles éparses dans l'Atlantique, aussi bien que Maurice et la Réunion, dans la mer des Indes, sont presque exclusivement habitées sur leur pourtour ; dans nombre de ces terres, l'intérieur est resté longtemps presque inconnu, quoique les colons, venus pour la plupart de contrées plus froides, eussent intérêt à rechercher dans les hautes vallées et sur les pentes des monts un climat analogue à celui de leur première patrie. De même sur le continent, des populations considérables s'agglomèrent dans le voisinage du littoral, et souvent un rayon tracé d'un plateau central jusqu'à la mer traverse des régions de plus en plus peu-

plées à mesure qu'il se rapproche de la côte. Dans l'intérieur du pays, les hommes s'établissent aussi sur les bords des lacs, qui sont des océans en miniature, ou bien le long des fleuves et autres cours d'eau, que les Chinois appellent avec tant de raison les « fils de la mer ». Les maisons, les jardins, les cultures, bordent d'une manière continue les deux berges de chaque grande rivière de l'Europe tempérée; des villages, des villes s'établissent au confluent de tous les tributaires avec le cours d'eau principal. Ainsi qu'on le répète souvent, la Seine, la Tamise, le Rhin, le Rhône, la Loire, ne sont que de longues rues mouvantes, unissant les uns aux autres les fragments de la ville immense qui les borde de la source à l'embouchure. Les lacs de Constance, de Zurich, de Genève, sont aussi entourés d'habitations et de jardins comme d'une ceinture. Vers l'extrémité orientale du Léman, de Vevey à Villeneuve, les châteaux, les hôtels, les maisons de plaisance, rejoignent village à village en une cité somptueuse; et c'est la beauté de la nature, bien plus encore que les avantages de la navigation, qui ont fait de cet admirable rivage l'un des espaces les plus fréquentés et les plus populeux de l'Europe. C'est aussi l'admirable vue des promontoires verdoyants, des plages blanches de la Méditerranée bleue qui, de Savone à Gênes et de Gênes à Chiavari, sur plus de 60 kilomètres de longueur, a couvert toute la côte de Ligurie de palais et de villas de marbre.

Ceux qui habitent immédiatement au bord de la mer et qui, de leur demeure, peuvent entendre le bruit des vagues, ont généralement l'instinct voyageur. L'horizon indéfini qui s'étend devant eux leur donne l'amour de l'espace, l'éternelle succession des flots les engage sans cesse au départ. Il est vrai, lorsque la côte est complétement dépourvue de ports, bordée de bancs de sable et d'écueils, exposée à toute la force des vagues et des tempêtes, les populations du littoral ne peuvent d'elles-mêmes avoir cette « âme d'airain » qui leur permette de s'élancer joyeusement dans la houle sur des radeaux ou de frêles canaux; c'est de nations étrangères,

plus favorisées par la disposition de leurs côtes et la clémence de leurs mers, qu'ils doivent apprendre l'art de construire et de diriger des embarcations sur les flots. En revanche, les habitants des côtes baignées par des eaux presque toujours tranquilles et découpées de havres où les embarcations peuvent se réfugier devant l'orage, s'abandonnent à l'instinct qui les attire sur le flot, et peu à peu le goût des voyages et des aventures se développe chez eux. Lorsque les découvreurs espagnols naviguèrent pour la première fois sur les côtes de l'Amérique centrale, ils furent étonnés de rencontrer des canots de commerce « presque aussi grands que des galères », et pouvant contenir jusqu'à cinquante personnes. Bien plus, au large du littoral péruvien, les marchands de bijoux et d'étoffes se hasardaient sur de simples radeaux, et, se laissant porter par le courant, pousser par la brise, ils voyageaient à des centaines de kilomètres le long des côtes[1].

Après les avantages exceptionnels que donnent aux populations maritimes le grand nombre de bons ports et la rareté des tempêtes, la condition la plus heureuse pour le développement du commerce et de la navigation chez les peuples enfants est le voisinage d'une île ou d'un archipel, dont on aperçoit les contours vaporeux sur le bleu de la mer, et qui attire de loin comme par une magie secrète. C'est ainsi que l'oisillon, timide encore, s'élance de son nid vers la branche la plus voisine. Les îles de la mer Égée appelaient vers la Grèce les marins de l'Asie Mineure; Chypre apparaissait aux Phéniciens comme un point de relâche avant qu'ils se hasardassent sur les eaux inconnues. L'île d'Elbe, à peine entrevue des côtes de la Toscane, marquait une étape sur le chemin de la Corse, des Baléares et des rivages lointains de l'Espagne; de même la Grande-Bretagne, dont les blanches falaises se montrent quelquefois par-dessus la Manche comme un mirage flottant, ne cessait de fasciner pour ainsi dire les habitants du rivage opposé, et c'est pour

1. Prescott. — Oscar Peschel, *Ausland*, n° 7, 1868.

cela qu'après avoir été tant de fois envahie et conquise, elle a fini par devenir le principal entrepôt commercial du monde entier. C'est aux îles, ces « perles de la mer », que la surface de la planète doit quelques-uns de ses traits les plus charmants; grâce au commerce, c'est également à ces terres que les peuples doivent aussi en grande partie leur civilisation. Ainsi que Ritter aimait à le répéter, il serait difficile de s'imaginer combien le cours de l'histoire aurait été changé si les îles de la Grèce, la Sicile, la Grande-Bretagne, avaient manqué à l'Europe. Que les nations aryennes eussent été privées de ces sortes de citadelles où elles ont pu se retrancher et mettre en sûreté le trésor de leurs conquêtes intellectuelles et morales, et certainement elles n'auraient point réalisé les progrès qui ont fait le monde moderne. Immergées dans l'antique barbarie, elles seraient restées étrangères les unes aux autres ; la terre, si petite pourtant, n'aurait point été reconnue dans toute sa rondeur, et l'humanité n'aurait pas encore conscience d'elle-même.

Cependant, lorsque la grande navigation n'avait pas encore rapproché les uns des autres tous les points de la surface du globe, les îles ne pouvaient avoir d'importance considérable dans l'histoire de l'humanité, à moins d'être situées dans le voisinage immédiat d'un continent et de s'appuyer pour ainsi dire sur une terre aux riches plaines et aux populations nombreuses. Les îles perdues au loin dans la mer sont comme des prisons ou des lieux d'exil pour les peuplades qui les habitent : les facilités mêmes qu'elles offrent pour les voyages, l'appel du vent qui passe en soufflant vers d'autres terres, les enchantements du flot sur lequel s'agite le mirage, les formes indécises qui se montrent au delà de l'horizon et qui font croire à des régions heureuses, tout devient une cause d'infériorité pour le développement social, car lorsque les insulaires sortent de leur petite patrie pour aller visiter une terre éloignée, ils ne reviennent que très-rarement sur le sol natal. Le manque d'un centre d'attraction autour duquel puissent graviter les populations les maintient dans l'isolement et dans la barbarie primitive.

Comme dans un de ces organismes inférieurs où manque la tête, la vie est répandue à la fois dans tout le corps; mais elle n'est concentrée nulle part et ne peut avoir une grande intensité. C'est ainsi que ces îles merveilleuses de l'Océanie, si nombreuses, si belles, au sol si fertile, au climat si heureux, sont restées en dehors de la civilisation du monde; il y a deux siècles à peine, elles étaient encore presque toutes inconnues.

Les régions les mieux disposées actuellement pour les progrès de l'humanité sont donc les grandes plaines continentales qui regardent par-dessus la mer vers des îles ou des archipels voisins. Ces terres fertiles, qui sont aussi le plus souvent d'anciens golfes comblés par des alluvions marines ou fluviales, appellent de nombreuses populations. C'est dans ces campagnes au sol uni que se développe l'agriculture, c'est vers les ports voisins que se dirige le commerce, que les denrées s'échangent, que les hommes apprennent à connaître les hommes, que les idées se mêlent aux idées. Presque toutes les puissantes cités s'élèvent sur un point de contact de la zone du littoral et des régions agricoles; les foules s'y agglomèrent, parce que les grands intérêts de l'humanité viennent s'y réunir. Par un contraste singulier, les populations agricoles, qui sont les plus sédentaires, et qui, par leur genre de vie non moins régulier que le retour des saisons, sont aussi portées à être les plus routinières, se trouvent en contact immédiat avec les populations maritimes, les plus mobiles, les plus rapides à l'action, les plus amoureuses de voyages et d'aventures. Ce rapprochement entre des hommes si différents par les mœurs est l'un des faits les plus importants dans l'histoire du progrès.

Il est des peuples maritimes dont la vie est un voyage continuel, et qui ont fait de l'Océan leur patrie. Ainsi les Normands, qui se nommaient « les rois de la mer », allaient de rivage en rivage porter la terreur, faisaient en passant la conquête des royaumes, puis se rembarquaient dans leurs légers navires et s'en allaient par delà l'immensité des mers découvrir ce continent américain qui, après eux, est retombé

pendant cinq cents ans dans les ténèbres de l'inconnu. De même aussi les pirates de la Sonde, dont les innombrables bateaux écument les eaux du Pacifique, et qui, massacrés en multitudes, ne cessent de pulluler, comme s'ils naissaient des vagues. Et ceux qui sont nés sur les rives d'Angleterre, où passent-ils la plus grande moitié de leur vie? Sur le banc de quart, sous le mât, au milieu des vergues et des vagues, contemplant les nuages et le bleu du ciel. Les populations maritimes sont intrépides : elles livrent à la tempête, aux coups de vent, à la mort sous ses mille faces, trop de combats terribles pour qu'elles n'apprennent pas aussi à se redresser devant l'homme; elles ont de la persévérance et du sang-froid, parce que leur lutte contre les éléments dure souvent sans répit pendant des heures ou des journées et qu'un instant d'inattention peut amener la mort; pour vaincre la nature dans ses colères, il leur faut non pas le courage de l'enthousiasme, mais celui de la raison. Leurs idées sont sobres et énergiques, mais uniformes comme la mer; elles ont rarement pour elles la grâce ou la douceur, mais elles ont la force et parfois la violence; fils de l'Océan, les marins gardent dans leur vie comme un reflet de ces flots puissants qui les ont bercés dès leur enfance.

V.

Fusion des contrastes de climats. — Modification de l'influence des milieux suivant l'état de la civilisation.

Telles sont, d'une manière tout à fait générale, les influences des climats divers sur les populations; tels sont les contrastes produits chez l'homme par la différence des zones, du relief continental, de l'exposition, de la nature du sol. Toutefois ces contrastes se présentent rarement d'une manière nette et tranchée; ce n'est point à la règle et au compas qu'il est possible de tracer les limites entre les peuples. L'influence

des vents et des courants, la présence de mers intérieures, les indentations des continents, les reploiements des chaînes de montagnes et les innombrables accidents physiques de la terre déplacent et entre-croisent incessamment les climats. Souvent même les forces opposées tendent à s'équilibrer, et par suite les contrastes s'atténuent et s'effacent. Ainsi le sol est bas dans presque toutes les contrées froides du Nord, et pendant la saison des chaleurs il reçoit en entier l'action salutaire du soleil; les habitants des régions septentrionales tiennent donc à la fois des montagnards, à cause de la nature sévère qui les entoure, et des peuples de plaines, à cause de leurs campagnes basses. Plus au sud, celui qui vit sur les monts ou sur les plateaux de la zone tempérée ou même de la zone torride peut se dire à la fois homme du Nord puisqu'il est entouré de neiges, et homme du Midi puisque les rayons du soleil lui descendent du zénith, et qu'il contemple à ses pieds des terres d'une richesse exubérante. De même, si le pic où il demeure s'élève au milieu des mers, il peut se dire aussi fils de l'Océan, et son caractère offrira certainement de frappants contrastes avec celui de l'habitant des montagnes situées au loin dans l'intérieur des continents. Les différences infinies des eaux, des airs et des lieux, la vibration plus ou moins rapide des ondes lumineuses et magnétiques, modifient sans cesse la nature du milieu général. Chaque province, chaque cité, chaque hameau a son climat propre; encore ce climat n'a-t-il rien de stable et varie-t-il de seconde en seconde. Tous les phénomènes de climat démontrés par l'observation se fondent les uns dans les autres, et par conséquent on ne peut juger de leur action sur les peuples que d'une manière générale.

Ce n'est pas tout : les nations ne restent pas éternellement sur le sol où elles sont nées, mais il se produit entre elles et leurs voisines un échange plus ou moins actif d'hommes isolés et de familles; quelquefois même ces nations sont violemment unies par des conquérants qui transplantent des populations entières, ou bien elles vont se chercher une nouvelle patrie par delà les mers ou les montagnes dans un pays tout différent. Alors les forces du climat se mettent en œuvre pour

modifier le type primitif de l'homme éloigné du sol natal, et lui substituer un nouveau type plus conforme à la nature ambiante. C'est cette lutte entre le passé et le présent, entre les hommes et le milieu, et non point le récit des batailles d'armées et des crimes de rois, qui constitue la véritable histoire, c'est-à-dire l'évolution de l'homme dans ses rapports avec le globe.

D'ailleurs, lors même que les peuples ne changent point de patrie et ne se mêlent pas avec d'autres peuples, leurs besoins, leurs mœurs se modifient avec les divers changements de l'état social, et, par suite, l'influence de la nature environnante varie avec les siècles. Ainsi les grandes forêts, où le nombre des habitants dépend fatalement de la quantité du gibier, cessent de convenir à l'homme quand il se fait agriculteur; les arbres tombent sous la hache, des clairières sans cesse agrandies sont occupées par les champs de céréales; le climat change et réagit sur les populations qui se pressent dans les espaces devenus libres. La mise en culture des steppes, des terres basses et marécageuses et de toutes les régions jadis désertes, a également pour conséquence de modifier le milieu et les peuples qui s'y trouvent. Les grands fleuves navigables, avec tout leur réseau de rivières et de canaux, sont à peine utilisés par les tribus sauvages, et, pour n'en citer qu'un exemple, l'immense fleuve des Amazones, le plus magnifique chemin commercial de l'intérieur des continents, cette méditerranée d'eau douce moins périlleuse que la méditerranée d'Europe, n'a guère eu, pendant tous les siècles écoulés, d'influence appréciable sur le développement de la civilisation chez les populations riveraines[1]. Grâce aux échanges, les rivières, qui pour des hommes primitifs ou n'ayant qu'une civilisation rudimentaire peuvent être des obstacles tout à fait infranchissables, deviennent au contraire pour les peuples policés les principaux agents matériels du progrès, jusqu'à ce que la création de voies artificielles de communication plus rapides ait de nouveau diminué l'impor-

1. Oscar Peschel, *Ausland*, 1868.

tance relative de ces chemins donnés par la nature. Les villages se groupent le long des routes, même lorsqu'elles ne suivent pas le fond des vallées et parcourent des plateaux exposés au vent, manquant de l'eau nécessaire : parfois même la route tout entière se change en une longue rue, comme ces curieux villages d'Aliermont, en Normandie, construits tout le long du sentier d'une ancienne forêt maintenant

VILLAGES D'ALIERMONT.

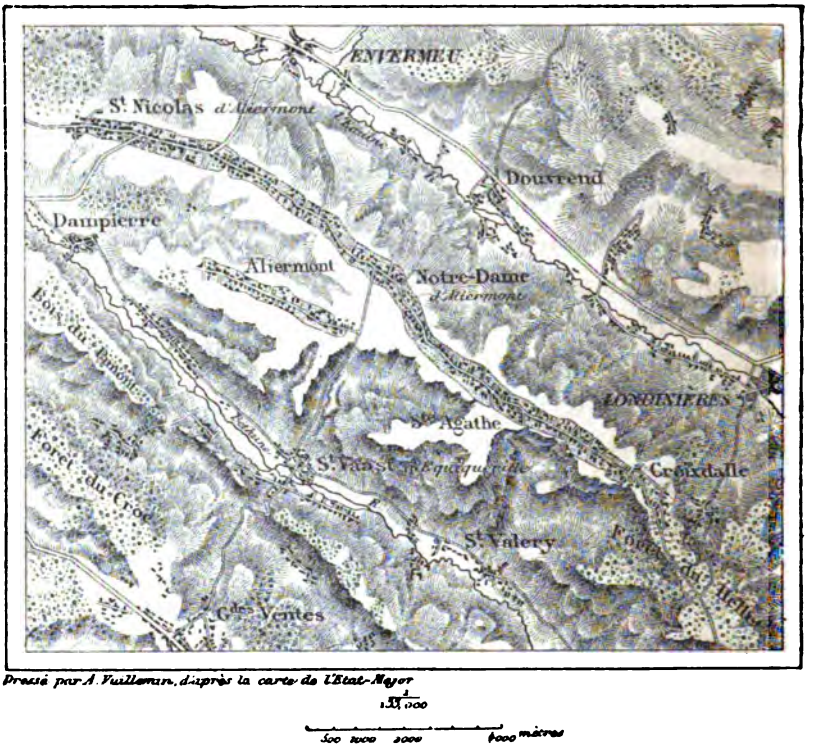


Fig. 192.

disparue : chaque paysan voulait se trouver sur le passage des commerçants étrangers. A leur tour, les chemins de fer déplacent les populations, et chaque station devient un centre attractif autour duquel viennent se presser les habitants. Les gisements de métaux, les dépôts de houille, de marbre, de gypse, de sel et autres richesses contenues dans la terre, sont aussi, suivant l'état de la civilisation, des trésors tantôt ignorés,

tantôt négligés, et des éléments inutiles ou bien de la plus haute importance dans l'histoire. La Californie, terre presque inconnue il y a une vingtaine d'années, est devenue, à cause de ses mines d'or, l'un des grands centres d'activité à la surface du globe.

Même le relief et la disposition générale des contrées peuvent être successivement utiles ou désavantageux suivant les diverses époques de la vie des nations. Ainsi les populations barbares qui nous ont précédés sur le sol de la Gaule et des autres pays d'Europe, se réfugiaient dans les cavernes des rochers ou construisaient leurs cabanes sur des pilotis plantés au milieu des lacs. Plus tard, quand la guerre continuelle d'embuscades et de massacres entre tribus voisines eut fait place à un état social un peu moins troublé, les troglodytes descendirent les uns après les autres de leurs sombres grottes; les lacustres quittèrent leurs perchoirs insalubres pour aller vivre sur le sol ferme, à l'ombre des grands arbres; l'eau des lacs, qui jadis les avait protégés contre toute attaque, était devenue pour eux un danger en les isolant de la terre, où ils trouvaient leurs moyens d'existence. Pendant les terribles âges de fer de la vie féodale, les seigneurs, dressant leurs nids de vautour au sommet de quelque rocher inexpugnable, groupaient les humbles cabanes des manants au pied de leurs superbes murailles; mais les villes elles-mêmes, aussi bien que les châteaux, se retranchaient sur les crêtes des promontoires d'un accès difficile. Alors le soin primordial étant celui de la défense, chaque centre d'habitations se plaçait à la cime d'un pic isolé, s'entourait de murs et se hérissait de tours. Dans le midi de la France, en Espagne, sur les côtes de la Ligurie, en Toscane, en Sicile, presque tous les anciens villages sont ainsi perchés sur des hauteurs, et d'en bas leurs murs croulants semblent être de bizarres escarpements du rocher: les maisons appuyées sur le rempart extérieur n'ont pour fenêtres que les étroites meurtrières de défense; les constructions des angles sont des tours crénelées, munies de herses et percées de mâchicoulis; l'église, bâtie au point

culminant, est en même temps la citadelle du village. Mais dans les temps modernes, le premier besoin est celui du travail; aussi les habitants abandonnent-ils successivement leurs aires d'oiseaux de proie, et vont-ils se loger sur le rivage de la mer, ou bien au bord des fleuves ou des routes qui passent dans la plaine. Semblables à ces animaux marins qui délaissent une coquille devenue trop incommode, ils sortent de leurs pittoresques donjons et se bâtissent des demeures, moins belles peut être comme détail du paysage, mais toujours beaucoup plus saines et plus confortables.

Même dans les contrées les moins civilisées de l'Europe, toutes les villes dévalent de leurs hautes cimes escarpées pour

MONTE SAN-GIULIANO.

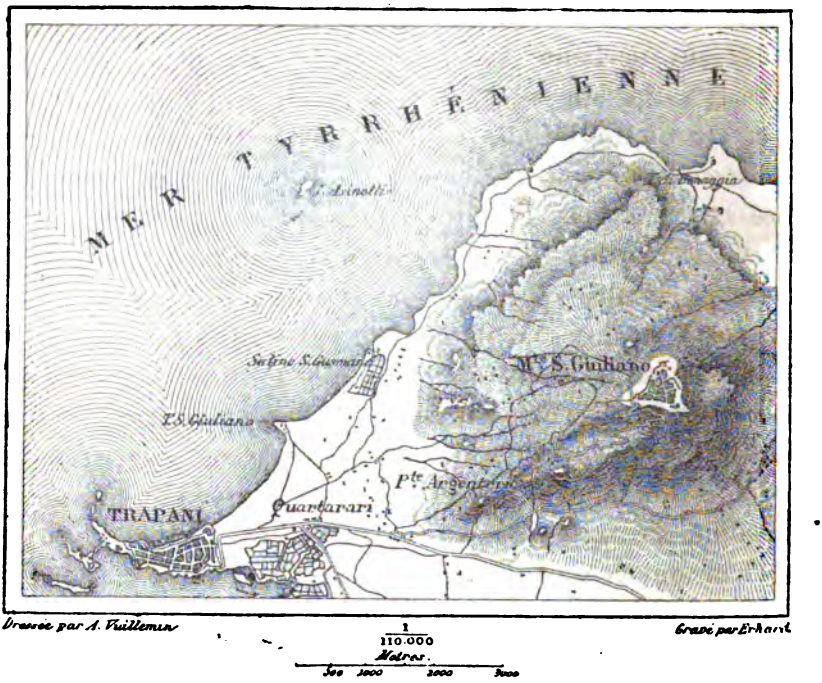


Fig. 193.

aller s'établir à proximité de la plage. Ce mouvement de descente a commencé sur les côtes de la Catalogne et de Valence après l'expulsion des Français, et maintenant chaque ville, chaque village du littoral, Arenys, Lloret et cent autres, se

divisent en deux moitiés : celle *del Mount, d'Alt* ou *de Arriba,* et celle *de Mar* ou *de Baix*[1]. De même sur la côte septentrionale de la Sicile, chaque *marina* s'agrandit aux dépens du *borgo,* et l'ancienne ville finit par devenir une ruine superbe, se dressant comme un amas de rochers sur la crête des monts. Toutefois il existe encore des villes peuplées de plusieurs milliers d'habitants qui occupent des arêtes de montagnes, bien au-dessus des champs cultivés : telles sont, en Sicile, Monte San-Giuliano et Centorbi. La première, bâtie sur le mont Éryx, jadis consacré à Vénus, occupe un étroit plateau à 700 mètres de hauteur au-dessus de la mer et des campagnes de Trapani. La ville de Centorbi domine la plaine de plus de 1,000 mètres. Les habitants qui cultivent les campagnes situées à la base du pic sont obligés de descendre et de remonter tous les jours l'interminable escalier, bordé de précipices, qui serpente sur les rochers. En face, de l'autre côté de la vallée du Simeto, et à l'extrémité d'une coulée de lave descendue de l'Etna, se dressent les maisons d'Adernò. Les nuages qui vont de l'une à l'autre ville parcourent cet espace en quelques minutes; du haut du promontoire de Centorbi, l'on peut même respirer la senteur des jardins de la terrasse opposée; mais pour franchir la distance qui sépare les deux localités, il ne faut pas moins de temps que pour se rendre de Paris aux frontières de la Belgique ou sur les bords de la Manche. Il est évident qu'un pareil état de choses ne peut durer. Les citoyens qui se réfugient tous les jours dans leur vieille enceinte de murs ne craindront pas de s'établir au milieu des campagnes actuellement désertes. La roideur des escarpements et la difficulté d'accès, qui leur semblaient autrefois des priviléges, lorsque leur vie était une frayeur continuelle, leur paraîtront désormais ce qu'ils sont en réalité, un très-grand désavantage à cause de la perte de temps et une raison déplorable d'infériorité en civilisation. Les cimes des hautes montagnes ne seront plus des emplacements favorables pour la construction des villes tant

1. Germond de Lavigne, *Itinéraire en Espagne.*

que l'homme ne sera pas devenu le maître des airs en dirigeant les ballons et que les débarcadères les plus favorables ne seront pas les pitons et les arêtes.

Ces changements successifs dans l'adaptation plus ou moins grande de la terre aux peuples qui l'habitent se produisent pour la configuration des continents eux-mêmes, non moins que pour les petits détails de la topographie locale. Ainsi les nombreuses baies qui découpent le littoral de l'Europe, les péninsules qui le frangent dans tous les sens et qui ont contribué pour une si forte part à donner aux populations de cette partie du monde le premier rôle dans l'histoire, perdent constamment en importance relative, à mesure que les voies de communication rapides se multiplient dans l'intérieur des terres; on peut même dire que, dans tous les pays déjà sillonnés de chemins de fer, les indentations des côtes, jadis si utiles à cause des chemins naturels qu'elles offraient à la navigation, sont devenues un obstacle plutôt qu'un avantage. Naguère aussi les grands ports de commerce devaient nécessairement s'établir au fond de la concavité formée par le littoral des golfes, ou bien au bord des estuaires les plus avancés dans l'intérieur des continents, car cette position leur permettait de recevoir des contrées voisines, par le chemin le plus court, la plus grande quantité possible de denrées et de marchandises. De nos jours, il n'en est plus ainsi, grâce aux voies rapides, et le commerce maritime tend de plus en plus à prendre pour point de départ les ports situés à l'extrémité des péninsules. De même, nombre de cités, telles que Madrid et Berlin, choisies comme capitales en dépit de la géographie, pour des raisons militaires ou administratives, n'en sont pas moins devenues des centres naturels pour le commerce et l'industrie, grâce au réseau de chemins de fer, de canaux et de routes qui viennent y converger. Chaque progrès historique change donc les rapports de l'homme avec la terre qui le porte, et, par suite, l'influence du milieu se modifie incessamment.

VI.

Marche de l'histoire. — Harmonie des terres et des peuples qui les habitent.

C'est aux historiens de raconter la marche des peuples à travers les continents et les îles, et de signaler l'incessante action qu'ont eue sur eux le sol et les climats. Chaque montagne, chaque promontoire, chaque îlot, chaque lac, fleuve ou ruisseau a son rôle dans l'histoire de l'humanité. Cependant la terre et les événements eux-mêmes sont trop peu connus pour qu'il soit possible de tenter encore une description détaillée des harmonies de la race humaine et de la planète pendant les siècles écoulés ; on ne peut qu'indiquer à grands traits la part qu'ont prise les principales régions du globe dans le développement des peuples.

L'Afrique, cette grande masse continentale sans articulations, n'a pas permis à ses habitants d'entrer en rapport avec les autres populations du globe : seulement au nord, les tribus berbères occupant le versant méditerranéen de l'Atlas, et séparées du reste de l'Afrique par le grand désert, se sont associées pour une faible part au mouvement de la civilisation d'Europe. Quant à l'Égypte, dont l'influence a été si grande sur la Grèce et sur le monde oriental, elle doit être considérée comme formant un petit monde isolé pour lequel le reste du continent était une terre inconnue. Dans cet immense espace fermé de l'Afrique équatoriale, les hommes naissaient et mouraient de génération en génération, sans savoir qu'il existait au delà des limites de leur patrie d'autres hommes comme eux : les bornes de leur horizon étaient pour eux l'univers entier. Favorisés par de constantes chaleurs et des terres fertiles, ils n'avaient pas assez d'ambition et ne s'ingéniaient point à rendre leur existence plus douce. Livrés à leurs seules ressources, ils vivaient comme leurs ancêtres

avaient vécu : aussi la civilisation ne pouvait-elle faire chez eux que d'imperceptibles progrès pendant la succession des siècles. Presque jusqu'à nos jours, on le sait, la plupart des Africains appartenant aux races les plus diverses, Cafres, Hottentots, Congos, Mozambiques, Achantis, Peuls, Yolofs, sont restés dans un état voisin de la barbarie primitive.

Les nombreux archipels épars dans l'océan Pacifique devaient, par leur dispersion même, être aussi défavorables aux progrès rapides de leurs habitants que l'était, de l'autre côté du monde, la masse énorme de l'Afrique. Avant les découvertes des navigateurs modernes, chacune de ces îles charmantes de la mer du Sud était un petit monde à part où, grâce à la fertilité du sol, se développait une société rudimentaire; en outre, la facilité qu'offrait la navigation dans ces mers, généralement paisibles et parcourues de vents réguliers, permettait aux migrations des peuplades de s'accomplir dans de vastes proportions; mais aussitôt nouées, les relations se dénouaient de nouveau; les sauvages qui s'étaient rendus dans leur seconde patrie se séparaient à jamais de l'ancienne. Par suite de l'isolement fatal des groupes de population, aucun grand intérêt, aucun idéal commun, ne pouvaient relier toutes les tribus du Pacifique. Cette partie de l'humanité, prisonnière de l'espace immense, restait partagée en tronçons destinés à ne jamais se rejoindre.

A l'orient de l'Asie, les habitants du littoral de la Chine et des îles du Japon furent plus heureux que les insulaires de la mer du Sud. Dans ces contrées de l'ancien monde, les pères pouvaient du moins léguer à leurs enfants leur industrie et leurs connaissances; les tribus pouvaient s'unir aux tribus et les peuples enseigner les peuples. La « Fleur du Milieu », cette région assez vaste pour nourrir des centaines de millions d'habitants, possède en outre de nombreux priviléges : elle est doucement inclinée vers la mer; de larges fleuves navigables l'arrosent, sa côte maritime est dentelée de baies et de promontoires, son climat tempéré incite au travail par une alternance régulière des saisons et des produits. Quant à la partie insulaire, elle se compose

d'un archipel de plusieurs milliers d'îles et d'îlots se groupant autour de terres considérables, dont les communications entre elles et avec le continent lui-même sont faciles. Aussi les sociétés de la Chine et du Japon ont-elles atteint par leur propre force un état de culture très-avancé, et pendant de longs siècles elles ont été probablement les premières de l'humanité pour l'agriculture, le commerce, l'industrie, la philosophie pratique. Toutefois cette civilisation de l'extrême Orient n'avait de débouchés que vers les étendues presque solitaires de l'océan Pacifique. De ce côté, l'accès des autres continents et des autres peuples était fermé à l'influence de la race jaune, et les savants ont de fortes raisons de douter que, pendant le cours des âges historiques, les missionnaires chinois aient traversé la mer du Sud pour aller porter dans la terre de Fu-Sang, devenue aujourd'hui le Mexique et le Guatemala, leur religion, leurs mœurs et leur architecture.

Les terres qui s'étendent obliquement à travers l'ancien monde, de Ceylan et des bords du Gange à l'archipel britannique, doivent à la forme heureuse de leurs contours et à la distribution harmonique de leurs massifs des avantages bien autrement grands que ceux de la Chine et du Japon. En descendant du plateau de Pamir et des espaces circonvoisins vers l'Indoustan, la Bactriane et l'Asie Mineure, la race aryenne ne se divisait pas en nations complétement isolées. Malgré les hautes chaînes du Soliman-Dagh et de l'Hindu-Kuch, malgré les plateaux salins de la Perse et les arêtes transversales de l'Elbourz, de l'Ararat, du Taurus, les communications entre les contrées limitrophes ne furent jamais interrompues, et les acquisitions industrielles et morales des peuples ne restèrent point des secrets absolus pour leurs voisins. En s'élaborant dans son domaine spécial, chaque civilisation particulière profita de celles qui germaient au loin sur d'autres plateaux ou d'autres plaines : les mythes et les chants de l'Inde, légués par les antiques Aryens, furent connus des Persans, et les idées de la Perse refluèrent vers les Hindous ; enfin les religions et la philosophie des uns et des autres, diversement modifiées par leur passage à travers

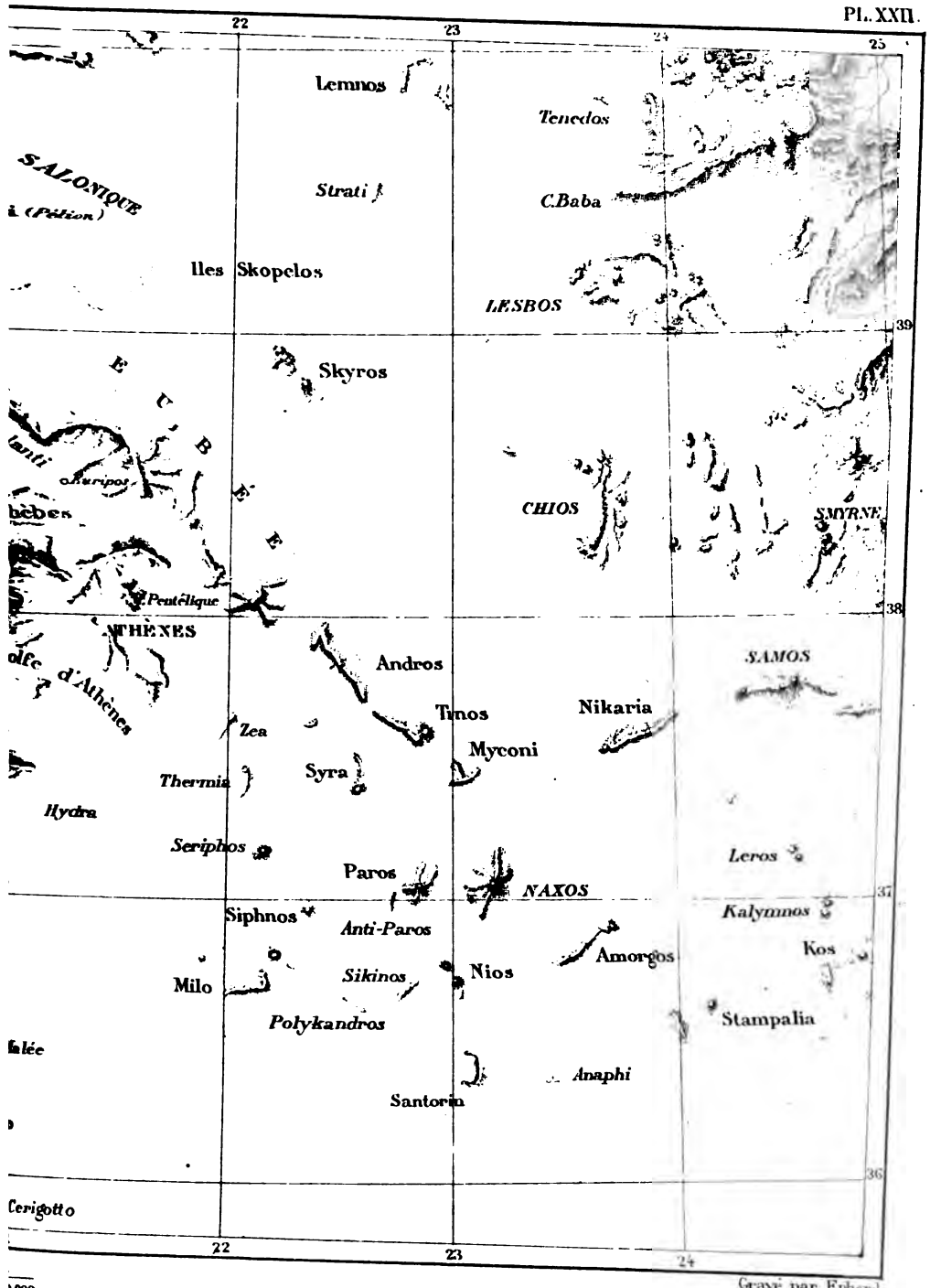
le temps et l'espace, allèrent se mélanger et se fondre avec la civilisation des peuples sémitiques : Chaldéens, Phéniciens, Juifs, Carthaginois.

Sur les bords de la Méditerranée, les deux pays d'Égypte et d'Asie Mineure, qui limitent la partie orientale de cette grande mer, sont les principaux représentants de cette première ère de la civilisation de l'Occident. Dans ces deux contrées, l'état social présentait les plus violents contrastes par suite de la diversité des races, des mœurs et du climat; mais les guerres, le commerce, les voyages, les grandes migrations, puis enfin la science, ne cessaient de mettre en rapport ces deux pôles de la civilisation du monde. L'accord des deux éléments opposés se fit dans la terre si charmante de la Grèce, qui s'avançait par delà la Crète et les Cyclades, comme pour servir de rendez-vous aux navires de l'Égypte, de la Phénicie, de Chypre, d'Éphèse, de la Troade. L'idéal de tout ce que les anciennes sociétés avaient rêvé de grand et de beau s'accomplit dans cette petite péninsule de la Hellade, ensemble harmonieux de monts, de hautes vallées, de péninsules, que l'on voit à peine sur nos cartes, et qui est cependant le point de la terre où, jusqu'à nos jours, la gloire de l'homme s'est montrée dans sa plus grande splendeur. Nulle part sur le globe les formes terrestres ne sont plus harmonieuses, plus vivantes pour ainsi dire. Les montagnes, quoique d'une faible hauteur, ont des profils d'une si grande beauté qu'elles restent célèbres à côté des géants des Alpes, des Andes, de l'Himalaya, et jamais peut-être les noms du Mont-Rose, de l'Antisana, du Gaurisankar, ne brilleront du même éclat que ceux du Pinde, du Cythéron, du Parnasse et de l'Olympe, séjour des dieux. Dans un faible horizon, la petite terre de la Grèce présente comme un résumé de tous les traits des continents ; elle a ses plateaux, ses massifs, ses rangées de monts, ses vallées et ses plaines, ses cours d'eau visibles et invisibles, ses lacs et ses gouffres; les anciens y avaient vu jusqu'à des cieux et des enfers. Ses rivages se recourbent en un si grand nombre de golfes et de baies, que la péninsule terminale ressemble à une feuille dentelée flottant sur les

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

Dressé par A Vuillemin.



Gravé par Erhard.

1000
mètres.
0
80

LIBRARY

eaux. Chaque cité avait un fleuve, un amphithéâtre de collines ou de montagnes, des champs fertiles, un débouché vers la mer : tous les éléments nécessaires à une société libre s'y trouvaient réunis, et le voisinage des cités rivales, également favorisées, entretenait une émulation constante. Aussi ne vit-on jamais dans le monde des groupes de républiques aussi fières et donnant à l'individu un plus large essor. La petite ville qu'illustrèrent Eschyle, Sophocle, Phidias, Démosthènes, Platon et tant d'autres génies, est encore, après plus de deux mille années, le centre lumineux de l'histoire.

Tandis que florissaient les républiques hellènes, des civilisations locales germaient en Italie, en Sicile, en Ibérie, dans les Gaules. Par suite de la position géographique de ces contrées, toutes les conquêtes intellectuelles et morales de la Grèce et de l'Orient leur profitèrent. De proche en proche et de siècle en siècle un irrésistible mouvement d'idées ne cessa de se propager des plaines de l'Hindoustan à celles de l'Europe occidentale. On connaît les péripéties de l'histoire des peuples modernes ; on sait comment, après avoir réussi à traverser sans mourir la longue et douloureuse nuit du moyen âge, l'humanité « naquit de nouveau » par une double découverte qui donna aux sociétés modernes leur essor définitif. Tandis que les poëtes, les érudits, les savants retrouvaient dans les trésors de l'antiquité la libre pensée de la Grèce et le fort génie de Rome, Colomb et d'autres navigateurs découvraient les deux continents d'Amérique et complétaient ainsi l'équilibre de la planète. Dès lors, la civilisation graduelle de tous les peuples par la science et la justice fut assurée, en dépit des violences de toutes sortes, des guerres et de la hideuse ignorance. Les progrès de chaque peuple devinrent ceux de l'humanité ; toutes les îles, tous les continents, jadis séparés, se joignirent à travers l'Océan pour devenir le domaine commun des hommes. Au moment où, grâce aux découvertes des Copernic et des Kepler, notre terre, que l'on croyait sans bornes, se changeait en un petit globe isolé, tournoyant dans l'espace, et cessait d'être le centre de l'univers, les habitants

de cette infime planète arrivaient à la conscience de leur grandeur, et de cet amas de nations et de peuplades commençait à se faire l'humanité.

Par suite de ce mouvement de civilisation qui, dans l'ancien monde, s'est propagé du levant au couchant, suivant la marche du soleil, les ports de l'Europe occidentale, Cadix, Lisbonne, Bordeaux, Nantes, le Havre, Hambourg, Londres, Bristol, Liverpool, sont comme autant de conducteurs électriques d'où le fluide s'échappe pour atteindre au delà des mers le continent américain. Mais là, le mouvement doit changer de direction. Le nouveau monde n'est pas comme toutes les grandes contrées historiques, disposé parallèlement à l'équateur; au contraire, il se prolonge du nord au sud dans le sens du méridien, et, grâce à cette position transversale, les émigrants d'Europe ont pu coloniser rapidement les terres récemment découvertes. Les navigateurs italiens, espagnols, portugais, français, anglais, hollandais, trouvaient tous, soit au nord, soit au sud de la ligne équatoriale, des régions dont le climat ressemblait à celui de leur patrie, et dans les deux zones ils pouvaient fonder une « nouvelle Espagne », une « nouvelle France », une « nouvelle Angleterre ». En outre les vents et les courants, traversant obliquement l'Atlantique, portaient les marins vers ces admirables régions des Antilles et de la Colombie, où la nature, malgré la chaleur du climat, exerce une si grande fascination sur les étrangers venus d'Europe.

Les expatriés de l'ancien monde prirent ainsi pied tout le long du littoral, du nouveau continent, sur une longueur de plus de 10,000 kilomètres, de l'estuaire du Saint-Laurent à celui de la Plata. En même temps, l'interruption des Cordillères dans les isthmes de l'Amérique centrale permettait aux émigrants de coloniser aussi les rivages occidentaux tournés vers la Chine, le Japon, l'Australie. Attaquant les deux continents sur tout leur pourtour, les nouveaux venus ont ainsi pu marcher à la conquête de l'intérieur de l'Amérique, apprendre à en connaître le relief, les terrains et les produits, mieux que l'on ne connaît encore ceux de la plus grande partie de l'ancien

monde, et fonder en ces régions naguère inexplorées des sociétés alliées à celles de l'Europe occidentale. Les fils des émigrants sont devenus des nations, dont la puissance, comparée à celle des peuples de la mère patrie, augmente prodigieusement. Population, industrie, commerce, richesse publique, tout s'accroît d'une manière inouïe dans ces pays vierges, et, ce qui vaut mieux encore, c'est que les États d'Amérique, en partie dégagés des institutions oppressives de la vieille Europe, se gouvernent eux-mêmes en libres démocraties. Les utopies de l'ancien monde sont devenues des réalités dans le nouveau. L'Amérique est le laboratoire où l'idéal de l'Europe est mis en pratique pour le salut commun.

Les deux Amériques, si harmonieusement pondérées comme masses continentales, présentent au point de vue social un contraste analogue à celui de leurs formes. La terre du Nord, située entre l'Europe et la Chine, est admirablement disposée pour servir d'étape intermédiaire aux peuples et aux marchandises se dirigeant de l'extrême Occident vers l'extrême Orient. C'est là que passe la voie ferrée du Pacifique, continuant sur terre les lignes de bateaux à vapeur, qui, d'un côté, desservent New-York et Liverpool, de l'autre, Changaï et San-Francisco, et bientôt d'autres chemins de fer interocéaniques faciliteront encore les échanges. Dans l'intérieur de ce continent du Nord, la méditerranée des grands lacs et les plaines mississipiennes, faiblement accidentées, offrent au commerce et à la colonisation des facilités qui ne sont égalées dans aucune autre partie du monde. Toutefois, la population qui constitue les États-Unis est presque entièrement composée de fils d'Européens, et n'a pas encore su se fondre avec les aborigènes ni avec la race des esclaves importés d'Afrique.

L'Amérique du Sud est un continent plus maritime, et ses ports, ouverts sur les grandes mers australes, servent d'étapes pour les voyages de circumnavigation. A l'intérieur, les échanges et le peuplement trouvent un domaine peut-être moins favorable que celui du continent septentrional; les montagnes y sont plus hautes, les plateaux plus abrupts, les forêts plus difficiles à parcourir, les déserts plus inhospi-

taliers, le climat plus redoutable pour des émigrants venus de l'Europe lointaine. Aussi les Hispano-Américains ont-ils plus que leurs rivaux du Nord subi l'influence du milieu. Sans abdiquer leur fraternité avec les peuples de l'ancien monde, ils se sont peu à peu mélangés avec les naturels, et, par cette fusion, ont introduit les anciens sauvages dans la civilisation moderne. Si l'Amérique du Nord est plus européenne, plus individualiste, plus active, l'Amérique du Sud est plus humaine : c'est à elle que revient l'honneur de convier toutes les peuplades encore barbares à la grande paix des nations.

CHAPITRE IV.

LE TRAVAIL DE L'HOMME.

I.

Réaction de l'homme sur la nature. — Exploration du globe. — Voyages de découvertes. — Ascensions de montagnes.

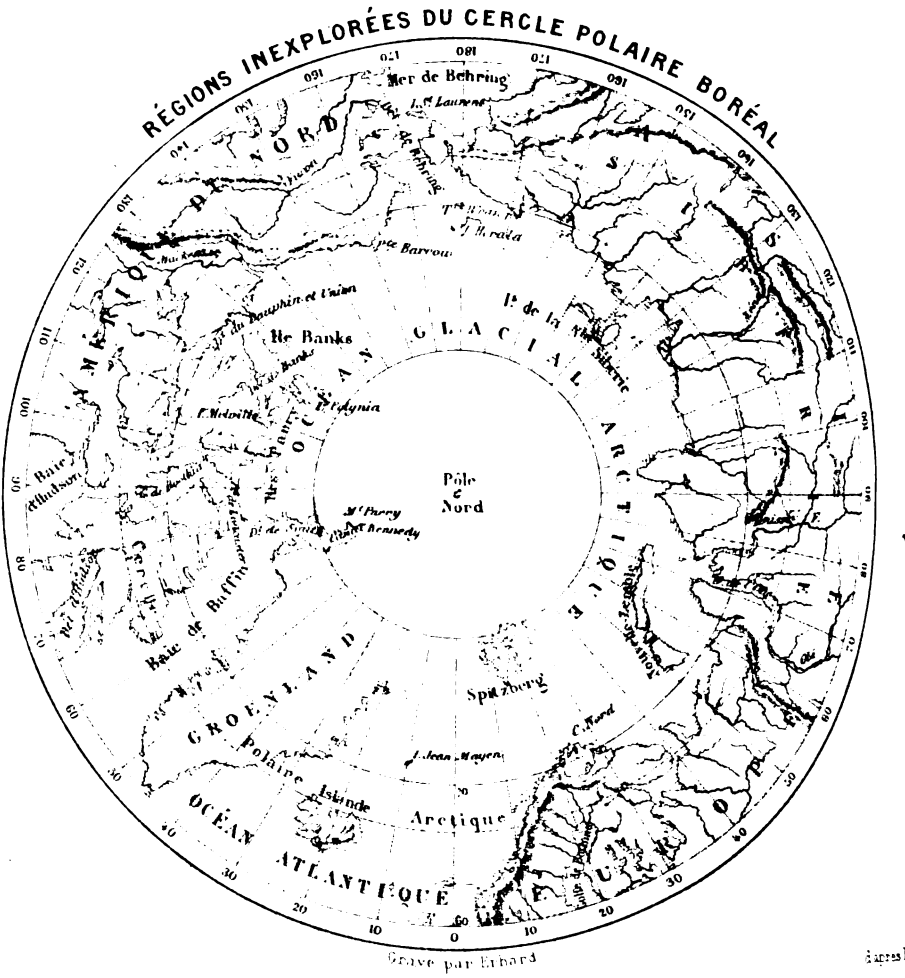
Pendant l'enfance des sociétés, les hommes isolés ou groupés en faibles tribus avaient à lutter contre des obstacles trop nombreux pour qu'ils songeassent à s'emparer de la surface de la terre comme de leur domaine : ils y vivaient, cachés et tremblants, comme les bêtes fauves des forêts; mais leur vie même était une lutte de toutes les heures : sous la constante menace de la famine ou du massacre, ils ne pouvaient s'occuper de l'exploration du pays, et les lois qui leur eussent permis d'utiliser les forces de la nature leur étaient encore inconnues. A mesure que les peuples se sont développés en intelligence et en liberté, ils ont appris à réagir sur ce monde extérieur dont ils avaient subi passivement l'influence; ils se sont graduellement approprié le sol qui les porte, et devenus, par la force de l'association, de véritables agents géologiques, ils ont transformé de diverses manières la surface des continents, changé l'économie des eaux courantes, modifié les climats eux-mêmes, déplacé les faunes et les flores. Parmi les œuvres que des animaux d'un ordre inférieur ont accomplies sur la terre, les îlots bâtis par les coraux peuvent, il est vrai, se comparer aux travaux de l'homme par leur étendue; mais ces constructions se poursuivent de siècle en siècle d'une manière uniforme et n'ajou-

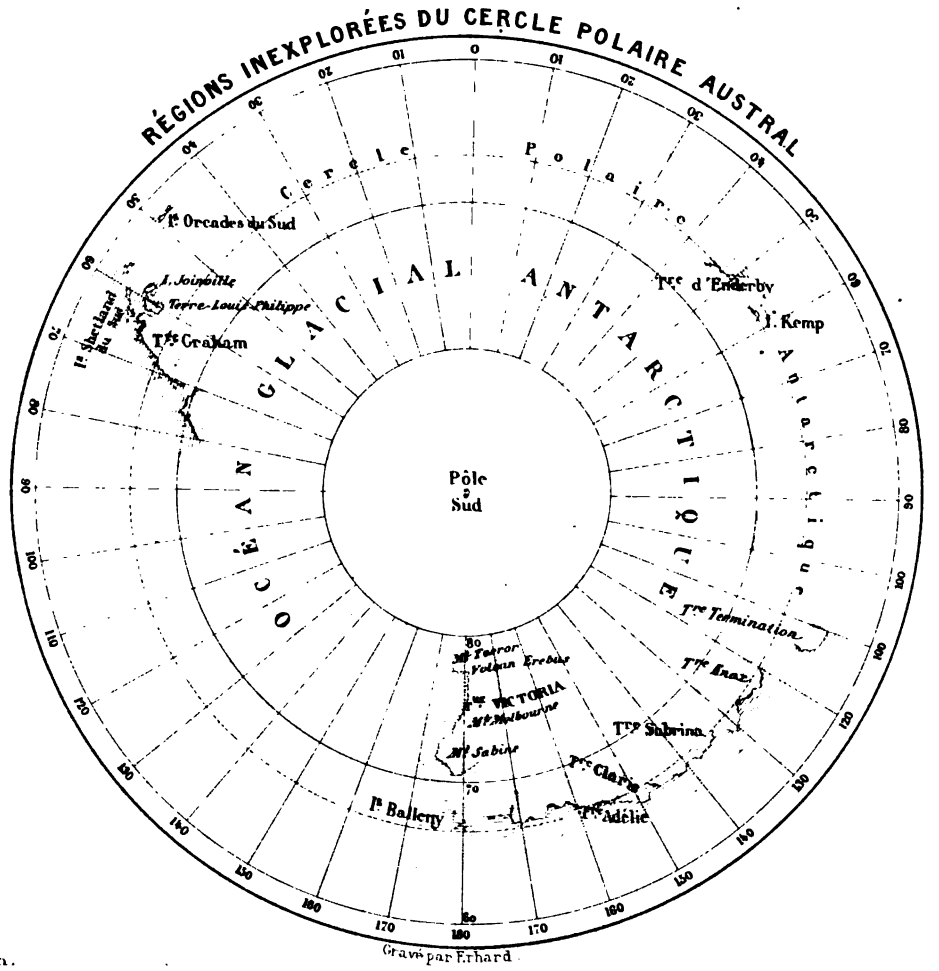
tent jamais un trait nouveau à la physionomie générale du globe : ce sont toujours les mêmes récifs, les mêmes terres lentement émergées comme des bancs d'alluvions fluviales ou marines, tandis que le travail de l'homme, sans cesse modifié, donne à la surface terrestre la plus grande diversité d'aspect, et la renouvelle, pour ainsi dire, avec chaque nouveau progrès de la race humaine en savoir et en expérience.

La première des conditions pour que l'homme arrive un jour à transformer complétement la superficie du globe, c'est qu'il la connaisse en entier et qu'il la parcoure dans tous les sens. Jadis les peuplades sauvages ou barbares, isolées les unes des autres, ne se faisaient qu'une idée chimérique des territoires situés au delà des étroites limites de leur patrie : elles n'y voyaient qu'un espace à la fois vide et sans bornes, un monde ténébreux et redoutable, que peuplaient des monstres, mais où l'homme lui-même ne pouvait vivre. Les traits les plus remarquables de la surface planétaire leur restaient tout à fait inconnus : les habitants des plaines se figuraient la terre comme une grande campagne unie; ceux des pays montagneux ne se représentaient par l'imagination que des gorges étroites, des escarpements et des cimes. De même, paraît-il, les Zunis, qui vivaient loin des côtes, dans les déserts qui sont devenus le Nouveau-Mexique, ignoraient jusqu'à l'existence de l'Océan; en revanche, nombre d'insulaires de la mer du Sud ne savaient point que de vastes masses continentales, étendues sur une largeur de plusieurs milliers de lieues, partagent les océans en bassins isolés. D'après le témoignage de Franklin, les Esquimaux apprenaient avec étonnement que vers le sud se trouvaient des terres complétement libres de glace, et sous l'équateur, les riverains ignorants des bords de l'Amazone croient naïvement que leur immense fleuve s enroule autour du monde.

A mesure que, par les échanges, les voyages et même par les expéditions guerrières, les peuples arrivaient à connaître les territoires les uns des autres, ils reléguaient les monstres dans les espaces mystérieux qui s'étendent par delà

LIBRARY


RÉGIONS INEXPLORÉES DU CERCLE POLAIRE BORÉAL
Mer de Behring
Détroit de Behring
Pte Barrow
Ile Banks
Ile Dauphin et Union
Ile Melville
Ile Lady Franklin
Baie d'Hudson
Baie de Baffin
Détroit de Davis
Pôle Nord
M'Clure
Ile Prince Albert
Ile de la Nouvelle Sibérie
Spitzberg
Ile Jean Mayen
Islande
GLACIAL ARCTIQUE
OCÉAN ATLANTIQUE
GROENLAND
Cercle Polaire Arctique
Gravé par Erhard



Gravé par Erhard

terrain.

[illegible]

les bornes du monde exploré; le domaine des connaissances s'accroissait en même temps que les régions parcourues, et les êtres chimériques, gnomes ou géants, qui s'enfuyaient vers le nord ou le midi, emportaient avec eux les superstitions et les erreurs. Ainsi les Hellènes, que leur mythologie nous représente dans les premiers âges luttant contre les centaures et les dragons, ne combattent plus que des hommes comme eux aux temps d'Aristote et de Platon, et c'est à des centaines de journées de distance, de l'autre côté du Gange et des colonnes d'Hercule, dans la brûlante Libye ou vers les monts Hyperboréens, qu'ils placent les produits fantastiques de leur imagination d'enfants. Au moyen âge et jusque dans les temps modernes, nos mappemondes, de même que celles des Chinois et des Japonais, peuplaient aussi de monstres les terres inconnues; mais chaque nouvelle découverte des voyageurs rétrécissait le domaine de la fable, et tout récemment les derniers êtres mythiques de la géographie, les Niam-Niams à queue, ont enfin disparu du centre de l'Afrique.

Depuis que l'homme a fait le tour de la terre, c'est-à-dire depuis trois siècles et demi, les explorateurs n'ont plus à s'aventurer dans un espace complétement inconnu; il ne leur reste qu'à rattacher les uns aux autres les itinéraires déjà tracés sur la surface du globe. Ce réseau d'innombrables lignes entre-croisées recouvre presque en entier les grands massifs continentaux et s'étend sur toute la partie des océans comprise entre les deux cercles polaires; seulement vers le pôle nord, et de l'autre côté de la terre, dans les régions antarctiques, il existe encore des espaces d'une étendue respective de 7,500,000 et de 22,500,000 kilomètres carrés, que les banquises et les montagnes de glace ont jusqu'à présent maintenus vierges de toute exploration[1]. Ces espaces qui restent encore à découvrir sur les deux calottes du globe forment à peu près un dix-septième de la surface terrestre, c'est-à-dire un ensemble de régions égalant environ soixante

1. *Mittheilungen von Petermann*, 1868.

fois la superficie de la France. De nos jours quelques géographes pusillanimes ont exprimé la crainte que cette étendue encore très-considérable de terres et de mers inexplorées restât à jamais inconnue. Cook, le hardi navigateur de l'océan Antarctique des glaces, affirmait que personne ne s'approcherait, ni même ne pourrait s'approcher du pôle plus qu'il n'avait pu le faire. Il se trompait. De même Pigafetta, dans son récit du grand voyage qu'il avait accompli avec Magellan, émet l'opinion que « pas un marin ne sera dans l'avenir assez hardi pour braver les dangers et les fatigues d'une nouvelle circumnavigation ». Il est vrai que cinquante-six années s'écoulèrent avant qu'un autre marin, Drake, menât à bonne fin un second voyage autour du monde; de nos jours, de pareilles traversées ne se comptent même plus, tant elles s'accomplissent fréquemment[1].

La passion avec laquelle les explorateurs des régions polaires ont entrepris et ne cessent de recommencer leurs voyages périlleux à travers les glaces nous est un sûr garant de leur succès futur; car, tandis que les obstacles restent les mêmes, l'expérience des navigateurs et les ressources de la science ne cessent d'augmenter. Depuis l'expédition de Willoughby, en 1553, cent treize voyages d'exploration maritime ont été faits dans les régions boréales[2], sans compter nombre d'excursions scientifiques entreprises dans la direction du pôle nord par des navires baleiniers; actuellement chaque été voit l'œuvre de recherche se renouveler, et toujours quelque équipage, anglais, allemand, américain ou suédois, cherche à se frayer un chemin à travers les glaces. Quant aux découvertes qui restent encore à faire dans le centre des masses continentales, en Asie, en Afrique, dans l'Amérique du Sud, en Australie, elles ne peuvent manquer aussi de s'accomplir prochainement; car la plupart des difficultés qui arrêtent encore les voyageurs sont de l'ordre moral et disparaîtront peu à peu, grâce aux progrès du commerce et de la civilisation. La

1. Oscar Peschel, *Geschichte der Erdkunde.*
2. Daly, *Journal of the American Geographical Society,* 1870, vol. II.

hideuse traite, qui fait si justement abhorrer les blancs dans le centre de l'Afrique aussi bien que dans le bassin de l'Amazone, aura bientôt son terme ; les tribus adoucies accueilleront les explorateurs et leur fourniront des guides; des groupes de colons, s'avançant d'étape en étape à travers les continents, relieront les uns aux autres les territoires habités par les nations policées. Chaque année, les espaces à reconnaître et à reporter sur nos cartes diminuent en superficie, et des centaines de héros, destinés en grand nombre à mourir obscurément, cherchent à les rétrécir encore. Toutefois, il faut le dire, aucun voyageur n'a parcouru l'ancien monde dans sa plus grande largeur comme l'a fait Marco Polo, il y a déjà six cents années. La plus vaste surface restée vierge, jusqu'à nos jours, du pas des explorateurs européens est la partie du continent d'Afrique comprise entre les sources du Nil, du Congo, de l'Ogobaï et du Bénué : c'est un espace d'environ 3,350,000 kilomètres carrés, soit approximativement le neuvième de la superficie du continent[1].

Lorsque enfin l'homme connaîtra toute la surface du globe, dont il se dit le maître, et que la parole de Colomb sera devenue vraie pour nous : *El mundo es poco*, la terre est petite! la grande œuvre géographique sera, non pas de parcourir les pays lointains, mais d'étudier à fond les détails de la région qu'on habite, de connaître chaque fleuve, chaque montagne, de montrer le rôle de chaque partie de l'organisme terrestre dans la vie de l'ensemble. Dès à présent, c'est à cette œuvre que s'emploient spécialement la plupart des savants, géographes, géologues ou météorologistes, et d'importantes sociétés se fondent de toutes parts afin d'activer les recherches locales. Elles en veulent surtout à ces montagnes qui dressent leurs sommets rayonnants bien au-dessus des pentes habitées, et dont nul pied humain n'avait encore vaincu les neiges. Chaque année les gravisseurs conquièrent plusieurs de ces monts inviolés jusqu'à nos jours, et montrent à leurs amis le chemin qu'il faut suivre pour les escalader; ces petits espaces, sou-

1. Oscar Peschel, *Ausland*, n° 22, 1870.

levés dans les régions glaciales de l'air, ne peuvent pas plus échapper aux investigations de l'homme que les vastes étendues de la zone arctique et de la zone antarctique. C'est principalement aux Anglais que revient l'honneur d'avoir donné l'impulsion à ce grand mouvement d'exploration des hautes cimes. Il y a déjà cent vingt-cinq ans, Pococke et Wyndham avaient, pour ainsi dire, découvert le mont Blanc. Depuis cette époque mémorable, ce sont aussi des Anglais qui, dépassant en zèle et en intrépidité les habitants mêmes des Alpes suisses, et, bien plus encore, les montagnards savoyards, italiens et français, ont le plus souvent gravi le mont Blanc et les autres géants des Alpes; ce sont eux qui ont étudié avec le plus d'ardeur la Mer-de-Glace et les divers glaciers des massifs occidentaux, et qui nous ont expliqué la véritable topographie des groupes peu connus du Pelvoux, du Grand-Paradis, du Viso; ce sont eux qui, par la fondation du premier *Alpine Club*, ont fait depuis surgir un grand nombre de sociétés du même genre dans les diverses contrées de l'Europe. Enfin, ne viennent-ils pas aussi d'établir à Lahore un « club de l'Himalaya », dans l'espérance d'arriver un jour à vaincre successivement tous ces grands sommets de l'Asie centrale, doubles en hauteur des colosses de l'Europe?

II.

Conquête de la terre par la culture. — Irrigations des anciens et des modernes.

Bien avant de s'approprier le sol par la science, l'homme avait commencé de se l'approprier par la culture. Les tribus de chasseurs et de pêcheurs, de même que les bergers nomades, n'avaient en rien modifié l'aspect de la terre, et si leur race avait disparu, aucun vestige n'en eût indiqué le passage à la surface des continents; mais dès que les familles,

s'établissant d'une manière permanente à côté des végétaux nourriciers, eurent appris à planter les arbres, à semer les graines et les fruits, l'œuvre de transformation fut inaugurée. Chaque point de la terre où des plantes utiles à l'homme, telles que les céréales et les arbres à fruit, avaient pris la place d'autres végétaux coupés par la hache ou brûlés par le feu, est devenu un centre autour duquel les cultures se sont étendues de proche en proche, et maintenant, grâce aux centaines de millions d'hommes travaillant sans relâche à solliciter les forces productives du sol, d'immenses territoires ont complétement perdu leur physionomie première. On peut évaluer à 1,200 millions d'hectares, soit environ à la dixième partie de la superficie des continents, l'ensemble des espaces qui sont cultivés par les mains de l'homme et partagés en champs aux contours réguliers. Il est vrai que la plus grande partie de cette vaste étendue est plutôt exploitée par une sorte de pillage que mise sérieusement en culture.

Dans les contrées dont les terrains naturellement salubres et fertiles ne sont point encore habitées par des populations nombreuses, les agriculteurs n'ont que l'embarras du choix, et le sol qu'ils labourent est de ceux qui produisent sans même qu'on ait besoin de le féconder par des engrais. Ainsi, dans les États-Unis, où plus de 350 millions d'hectares de terre inoccupées sont encore à la disposition des citoyens, les colons ne mettent guère en culture que les plaines alluviales, les bords des fleuves, les vallons arrosés par des eaux courantes. En revanche, dans les pays de l'ancien monde, où les populations pressées commencent à manquer de sol nourricier, nombre de terrains, qui seraient dédaignés ailleurs comme infertiles, sont annexés au domaine de la culture et finissent par se couvrir de récoltes. Il n'est point de sols que l'homme, poussé par le besoin, et disposant des immenses ressources que lui donnent la science et le travail associés, ne puisse maintenant transformer en riches campagnes : par le drainage, il fait disparaître les eaux pernicieuses qui refroidiraient la terre et corrompraient les racines des plantes; par l'irrigation, il amène, au temps voulu, l'eau nécessaire au développement de la séve

et des tissus; par les engrais, il enrichit le sol et nourrit la plante; par les amendements, il change la nature du terrain lui-même. L'agriculture, qui jadis se pratiquait comme au hasard, tend de plus en plus à devenir une industrie scientifique; elle le sera tout à fait quand les lois de la chimie, de la physique, de la météorologie, de l'histoire naturelle, seront parfaitement connues.

Parmi les grands travaux agricoles accomplis déjà par la seule ténacité du paysan, même dépourvu des ressources de l'industrie moderne, il en est de vraiment admirables. Ainsi, quoi de plus étonnant que ces coteaux des bords de la Moselle et du Rhin, du Rhône et de l'Ardèche, ou ces monts de la Provence, de la Ligurie, de la Toscane, de la Morée, de l'île de Java [1], qui, de la base au sommet, sont entourés de larges gradins concentriques, tous portant leurs cultures, vignes, oliviers, céréales ou la canne à sucre et des palmiers? Le pic et la pioche ont démoli les roches croulantes, et les débris ont servi à construire cet immense escalier de murailles dont chacune, comme la terrasse d'un jardin, retient la terre végétale et l'empêche de glisser sur la déclivité du roc. Qu'un orage éclatant sur les hauteurs renverse les murs et ravine les terres, dès le lendemain, des paysans sont à l'œuvre pour reconstruire les gradins, tandis que d'autres, et le plus souvent des femmes, rapportent péniblement du bas de la montagne, hottée par hottée, cette précieuse terre qu'avait entraînée la trombe. Combien peu de chose devaient être les célèbres jardins suspendus de Babylone à côté de ces monuments prodigieux du travail humain!

Les pentes des volcans méditerranéens offrent aussi des exemples remarquables de ce que peut faire la tenace volonté du cultivateur. Sur les flancs mêmes de l'Etna, dont la cime se dresse au loin dans la région des neiges, vivent plus de 300,000 habitants. Le sol des champs, ombragé par des multitudes d'arbres fruitiers, n'est que laves et que cendres; mais l'âpre travail de chaque jour en a fait un jardin, qui est

1. Junghuhn. — Wallace, *Malay archipelago*, I, p. 175.

la merveille de la Sicile. Le paysan s'est attaqué avec acharnement à toutes les roches et les a conquises pas à pas pour en transformer la surface raboteuse en terre végétale. Quand la montagne, en s'entr'ouvrant, vomit sa lave sur les cultures et les villages, le travail agricole est tout simplement interrompu. Les familles conservent religieusement leurs titres de propriété, comme si la propriété elle-même n'avait pas disparu; puis, après un laps d'années plus ou moins considérable, dès que les laves refroidies sont recouvertes çà et là de plaques de lichens, le cultivateur se met à l'œuvre pour utiliser les moindres crevasses de la roche qui se prêtent à la végétation. Certaines laves compactes, notamment celle qui détruisit une partie de Catane en 1669, se délitent avec une singulière lenteur; pour en cultiver durant le cours du même siècle les scories superficielles, il faut les broyer et les mélanger à des terres déjà fertiles; néanmoins le travail finit par en venir à bout: les jardiniers y insèrent les bourgeons des cactus, qui se développent rapidement et cachent la pierre rougeâtre sous l'impénétrable fourré de leurs palettes épineuses, brillant au soleil d'un éclat métallique. Des figuiers, rampant sur le sol, glissent leurs longues racines dans les interstices de la roche. En certains endroits, la vigne même réussit à vivre et à porter des fruits sur ces dures scories, qui semblent autant de blocs de fer. D'autres laves, à cause de la friabilité de leurs cristaux et de la quantité de cendres que leur ont apportée les vents, se prêtent à une culture rudimentaire dans l'espace de quelques années. Telles sont les coulées de Zaffarana, sorties du sein de la terre en 1852 et en 1853, et dans les creux desquelles les habitants des villages voisins plantaient déjà des genêts cinq ans après l'éruption[1]. Mais que les « cheires » de laves soient friables ou dures, elles n'en finissent pas moins toutes par se transformer en vergers et en jardins. Non moins persévérants que les fourmis, qui rebâtissent sans se lasser leurs buttes détruites par le pied des promeneurs, les paysans de l'Etna recommencent

1. Charles Lyell, *Philosophic Transactions*, 1858.

de siècle en siècle leur travail acharné, et sur chaque fleuve de pierre qui recouvre leurs champs, ils étendent de nouvelles campagnes, non moins verdoyantes que ne l'étaient les vergers disparus.

De tous les travaux agricoles qui ont changé la face de la terre, ce sont les canaux d'irrigation qui, dans les âges passés, ont été compris et exécutés de la manière la plus grandiose. Les Égyptiens, assiégés par le sable du désert, et mettant pour ainsi dire leur âme dans ce limon du Nil où ils croyaient qu'étaient nés leurs ancêtres, avaient fait des irrigations leurs grands rites sacrés; leurs réservoirs, creusés pour l'aménagement des eaux d'inondation, n'avaient pas coûté moins de travail que les inutiles et fastueuses pyramides[1]. En Lombardie, en Toscane, l'irrigation générale du pays, dirigée par des syndicats, était aussi pratiquée avec une grande intelligence, et les plus beaux noms d'artistes et de savants, Léonard de Vinci, Michel-Ange, Galilée, Torricelli, sont associés à l'histoire de cette partie de l'agriculture. De nos jours, l'œuvre se poursuit avec une grande activité dans toutes les contrées du midi de l'Europe, dans l'Hindoustan et dans plusieurs autres pays du monde qui ont à souffrir de sécheresses. Avant d'entrer dans les plaines, presque tous les torrents du Piémont, de la Provence, du Roussillon, de l'Espagne méditerranéenne, sont en entier dérivés dans les campagnes, et seulement lors des averses ou de la fonte des neiges, les lits pierreux se remplissent d'une eau sale que la terre avide a bientôt absorbée. De grandes rivières comme l'Èbre[2], le Pô, la Durance, utilisées pour les irrigations, s'appauvrissent chaque année; en échappant à sa vallée de montagnes, le Gange livre les six septièmes de ses eaux au canal d'irrigation qui arrose les plaines du Duab[3]; mais aussi cette masse liquide, en compensant l'effet des sécheresses, permet-elle à trois millions d'hommes de se

1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.
2. Antonio de Mesa. — Voir, dans le premier volume, 2e édit., p. 497.
3. H. Schlagintweit, *Reise in Indien*, vol. I.

sauver de la famine et de la mort. Dans le riche delta du Nil, 50,000 puits d'arrosement ne cessent de fonctionner aux dépens du fleuve et de ses canaux[1]. Si l'ambition des agriculteurs se réalise, les cours d'eau finiront par disparaître complétement. M. Love demande qu'on supprime au plus tôt les rivières de France en dérivant les tributaires dès leur origine et en leur faisant suivre, enfermés en des canaux d'irrigation, toutes les sinuosités du sol[2]. Toutefois il est bon d'ajouter que M. Love est constructeur de chemins de fer.

D'ailleurs, on ne se contente plus aujourd'hui des eaux superficielles pour l'arrosement des terres. Par des forages, l'homme va chercher l'eau qui coule dans les profondeurs et la force à venir à la surface pour arroser les plantations; c'est ce qu'il a fait avec le plus grand succès en Algérie, soit pour accroître en étendue les oasis, soit pour en créer de nouvelles, et nul doute qu'il ne puisse en faire autant dans les autres contrées dont le sol aride cache des nappes souterraines. Ce n'est pas tout : cette eau, que l'on détourne de son cours naturel ou que l'on fait jaillir du fond de la terre, n'agit pas seulement sur les plantes en leur apportant l'humidité nécessaire, elle agit aussi par les amendements et les engrais qu'on lui confie. Aux champs sur lesquels elle s'épanche, elle distribue les alluvions puisées à des formations d'une nature différente et mêle ainsi les sols, au grand profit de la végétation; elle change par le colmatage des terres naturellement infertiles et les rend excellentes pour la culture. De même que, par des jets d'eau habilement dirigés, les mineurs californiens abattent de hauts talus de sable ou de gravier afin de recueillir les parcelles d'or entraînées dans le courant, de même on pourrait faire crouler, dans les Pyrénées, nombre d'escarpements de roches en débris pour les déverser dans des canaux de colmatage et les répartir en alluvions non moins précieuses que l'or, sur les sables infertiles des Landes.

1. Fraas, *Aus dem Orient*, p. 207.
2. Société des ingénieurs civils, *Discours d'inauguration* du 1er janv., 1868.

Cette idée de l'ingénieur Duponchel n'est certainement point une chimère. Récemment M. Bazalgette a donné la preuve de ce que l'homme peut tenter en faisant apparaître, comme par enchantement, de magnifiques prairies sur les sables purs du littoral, arrosés par des eaux d'égout provenant de Londres, à 70 kilomètres de distance. Le chimiste Liebig affirmait que la plage nue se refuserait à produire un brin d'herbe; mais on eut raison de ne pas accepter sa prédiction sans la contrôler par l'expérience, car les sables condamnés par lui peuvent donner dans l'année de six à neuf coupes d'une herbe savoureuse.

III.

Mise en culture des marais. — Drainage du sol dans les campagnes et dans les villes.

Par l'irrigation l'agriculteur parvient à conquérir les terres arides, telles que les sables des Landes, les argiles du désert, les escarpements rocheux; par le desséchement il s'empare de terres noyées qui n'eussent jamais rien produit, et les transforme en de magnifiques jardins. Les tourbières, les marais, se changent par son travail en une terre des plus fertiles, et le nom de « maraîcher » s'applique désormais aux jardiniers, qui, dans le voisinage de nos grandes villes, savent faire sortir du plus petit espace de terrain la plus forte quantité de substance végétale. Chacune des étapes de l'humanité, en Italie, dans les plaines des Gaules et de la Germanie, sur le sol noyé des Bataves, dans la Grande-Bretagne, n'a été rendue possible que par l'asséchement et l'assainissement du territoire; chacun des reculs partiels de la civilisation, ainsi qu'on le voit encore autour de Carthage, de Syracuse et de Rome, est constaté par un nouvel empiétement des marais jadis conquis. De nos jours, où le travail de la colonisation se fait sur une si

grande échelle, le principal labeur des pionniers, dans la Mitidja, sur les bords du Mississipi, sur les côtes de la Colombie, des Guyanes et du Brésil, dans les îles de la Sonde et sur le littoral d'Afrique, n'est-il pas d'affermir le sol et de purifier l'air, pour ajouter ainsi un nouveau domaine à ceux que l'humanité s'est déjà pleinement appropriés? C'est là une œuvre qui coûte chaque année un grand nombre de vies; en diverses plaines, aujourd'hui riches de moissons, plus d'agriculteurs paisibles sont morts à la peine que ne sont tombés de soldats sur les champs de carnage comme Leipzig et Sadowa; mais tout cède à la patience, et tôt ou tard, grâce à l'accroissement des populations humaines, aux progrès de leur industrie, à l'association de leurs forces, les bords marécageux des Amazones, les lagunes du Paraguay, les terres noyées du lac Tsad, les Sunderbund du Gange et du Brahmapoutra deviendront des campagnes salubres. Sous tous les climats à la fois se poursuit cette œuvre d'aménagement de la terre. En Norvége, où la superficie des campagnes arables était, en 1866, seulement de 2,800 kilomètres carrés, les agriculteurs font chaque année sur les marais et sur les fjords la conquête de plus de 10,000 hectares[1].

Actuellement ce que proposent les hommes de science n'est rien moins que d'établir au-dessous de la surface du sol un mouvement circulatoire des eaux, analogue à celui qui s'opère naturellement dans l'air et à la superficie des terrains par les nuages et les rivières. L'eau s'élève de la mer sous forme de vapeur et vole dans l'espace pour se précipiter en pluie et revenir à l'Océan par les ruisselets et les fleuves; mais cette eau qui redescend vers le réservoir des mers, l'agriculteur s'en empare, il la répartit en canaux, puis en petits filets d'irrigation qu'il distribue non-seulement sur les champs de la vallée, mais aussi sur le flanc des collines et des montagnes, et jusque sur les plateaux élevés. L'eau, ainsi divisée en ramifications innombrables, pénètre dans le sol sur toute la surface du territoire; comme une seconde pluie, elle rafraî-

1. Frisch, *Mittheilungen von Petermann*, XI, 1866.

chit et nourrit les racines des plantes. Son œuvre utile est alors terminée : qu'elle séjourne plus longtemps dans la terre, et son action deviendra funeste à la végétation ; elle noiera les radicules et fermera les pores à travers lesquels pénétrait l'air extérieur.

Ainsi l'arrosement peut être fatal là où le sous-sol ne possède pas, comme la surface, tout un réseau de conduits qui débarrassent le terrain de l'humidité surabondante. L'eau filtre goutte à goutte dans les petits tuyaux de drainage, puis les filets distincts se rassemblent dans un conduit plus grand, et, grossissant peu à peu dans son cours, le ruisselet invisible va de tube en tube se jeter, soit dans un fleuve, soit dans la mer. Tel est l'immense travail de canalisation souterraine que les agriculteurs entreprennent à la fois sur une multitude de points, et qui a pour résultat de modifier lentement, mais sûrement, toutes les conditions hydrologiques et climatiques du sol. C'est dans les pays humides de l'Europe civilisée, dans la Grande-Bretagne notamment, que le drainage des terrains s'opère de la manière la plus grandiose : dans la seule Angleterre, ce n'est pas à moins de 10 millions de kilomètres, soit 250 fois la circonférence terrestre, qu'il faut évaluer la longueur de toutes les galeries de drainage mises bout à bout. Malheureusement la lutte des intérêts particuliers et le manque d'initiative et de large compréhension chez la plupart des propriétaires du sol n'a pas permis que cette œuvre fût accomplie suivant un plan général : chacun travaille dans son champ sans se préoccuper du voisin, et souvent ces drainages partiels ont pour résultat de gonfler les rivières et de changer en marais des campagnes situées au-dessous. Tôt ou tard cette entreprise immense de l'aération et de l'asséchement du sol devra donc être recommencée systématiquement, de manière à s'appliquer à toute l'étendue de chaque bassin fluvial. Alors seulement le réseau artificiel du drainage pourra se comparer au réseau naturel des eaux courantes : au circuit général produit dans les airs et sur le sol par la rotation du globe répondront tous les circuits partiels établis dans chaque contrée par le travail humain.

C'est dans les grandes villes surtout que la canalisation souterraine commence à se faire de nos jours suivant le plan le plus systématique. On sait que les ruisseaux et les fleuves d'eau pure deviennent dans nos villes des réceptacles d'immondices. Qu'on aille à Londres, la grande cité dont les trois cent mille maisons renferment près de trois millions et demi d'habitants et qui se relie par d'interminables rues à tant de jeunes villes de banlieue grandissant à vue d'œil, qu'on suive les bords marécageux de cette large Tamise, qui passe entre les immenses ruches humaines, et l'on verra combien le peuple du monde qui sait pourtant le mieux apprécier la nature peut aussi la souiller. A la marée descendante, lorsque le courant du fleuve aux eaux lentes et noirâtres se dirige vers la mer, les bancs d'une vase à demi liquide et remplie de débris en putréfaction se découvrent peu à peu et laissent échapper dans l'air leur odeur nauséabonde : par un sentiment d'horreur instinctive, on s'étonne presque de voir le bleu du ciel et les nuages se refléter dans ces ordures humides. Au retour du flot, lorsque la masse liquide s'arrête, puis s'élève graduellement et remonte dans la Tamise, les îles de vase cessent d'être visibles, mais la plupart des immondes débris qu'avait emportés le reflux, le flux les apporte de nouveau : un mouvement de va-et-vient promène incessamment ces impuretés sous les yeux des habitants.

C'est ainsi qu'on salit encore le grand fleuve; quant aux ruisseaux et même aux petites rivières qui se jetaient dans la Tamise après avoir parcouru une partie de la province qui est devenue Londres, il y a longtemps déjà que ces cours d'eau ont disparu sous les rues et les maisons pour se transformer en égouts. Et ce qui s'est fait dans la vaste cité britannique se fait également dans toutes les grandes agglomérations humaines; Paris aussi change la Bièvre, que les coteaux de Saint-Cyr lui ont donnée si pure, en un fossé d'immondices liquides; parfois, lorsque les eaux de la Seine sont basses, on pourrait en extraire une masse solide d'impuretés égale à près du quarantième de tout ce que le fleuve entraîne. Partout les groupes d'hommes qu'attiraient les eaux

courantes ont commencé par les souiller, et souvent ils les ont rendues impropres à la boisson ou même tout à fait nuisibles à la santé. Les noms énergiques et grossiers que les habitants du midi de la France ont donnés à quelques-uns des ruisseaux qui traversent leurs grandes villes révèlent l'état de hideuse malpropreté dans lequel se trouvent ces cours d'eau.

Après s'être privées des eaux potables que la nature avait mises à leur disposition, et qui d'ailleurs seraient rarement suffisantes, les villes ont dû s'occuper de les remplacer par des eaux de source ou de rivière amenées à grands frais. Tel est le problème capital qu'il s'agit de résoudre pour le bien-être des populations qui se pressent de plus en plus nombreuses dans nos vastes cités. Jadis la puissante Rome, qui faisait travailler pour elle les vaincus du monde entier, avait détourné par des aqueducs l'eau de toutes les montagnes voisines et l'avait dirigée vers ses places, où elle jaillissait en abondance d'une multitude de fontaines et s'étalait en larges bassins; elle recevait alors à peu près autant d'eau que la Marne en déverse en temps ordinaire dans la Seine; il en reste encore assez pour que chaque habitant puisse employer à lui seul 944 litres par jour. Bien peu nombreuses actuellement sont les villes modernes qui reçoivent une quantité d'eau aussi considérable en proportion que l'était celle de l'ancienne Rome; grandissant à l'aventure comme des étourdies, la plupart des jeunes cités n'ont pas encore compris quels étaient leurs besoins les plus impérieux et manquent encore de fontaines inépuisables. Toutefois, leur attention s'éveille de plus en plus, et le XIXe siècle ne se passera point sans que la plupart des grandes villes soient abondamment pourvues de l'eau nécessaire à leur alimentation et à leur propreté. Déjà les travaux de ce genre entrepris autour de Marseille, de Paris, de Glasgow, de New-York, de Philadelphie, de Washington, de Chicago, dépassent tout ce qu'avaient fait les Romains, non par la beauté des travaux d'art, mais par la longueur et la capacité des aqueducs, et surtout par l'habileté avec laquelle les ingénieurs ont su triompher des obstacles naturels. Londres reçoit de ses aque-

ducs et de ses machines à élévation jusqu'à 500 millions de litres par jour, et l'on parle maintenant d'aller chercher sa provision d'eau dans les lacs du pays de Galles ou dans ceux du Cumberland. New-York et Bombay sont bâties sur des îles; n'importe, l'eau pure leur viendra du continent, passant par des siphons au-dessus du Hudson et de la mer; Chicago est bâtie à l'embouchure d'un fleuve marécageux, au bord d'un lac dont les eaux sont incessamment souillées par les navires ancrés le long des rivages; eh bien, elle ira prendre l'eau de ses fontaines à 2 kilomètres de la plage, au moyen d'un large tunnel creusé sous le fond du lac Michigan : pour son alimentation journalière, elle se donne un ruisseau sous-marin!

Quant à l'expulsion des eaux sales, à peine moins urgente que l'appel des eaux pures, c'est Londres, la plus grande ville de la terre, qui est aujourd'hui sous ce rapport la cité modèle. Ses égouts, dont la longueur totale est de 132 kilomètres, ont été construits de manière à pouvoir entraîner hors de la ville 1,800 millions de mètres cubes d'eau et d'immondices par 24 heures, soit 22,000 mètres cubes à la seconde, plus que le Mississipi n'en roule en moyenne vers le golfe du Mexique. Mais ces fleuves souterrains n'évacuent pas seulement les eaux qui naguère encore empestaient la Tamise, ils pourraient aussi répandre par l'irrigation la fertilité sur plus de 60,000 hectares jusqu'à 70 kilomètres de distance et produire assez d'herbe pour nourrir au besoin 100,000 vaches laitières, bien plus qu'il n'en faut pour approvisionner de beurre et de lait la ville immense. Ainsi, dit le rapport du *Board of Health*, « se trouverait fermé le grand cercle de la vie, de la mort et de la reproduction ». Comme un être prodigieux, Londres absorbe incessamment l'eau par ses aqueducs, les denrées par ses chemins de fer, et les détritus qu'elle rejette au loin par ses égouts servent à reconstituer la nourriture nécessaire à son énorme appétit.

IV.

Asséchement des lacs et des golfes marins. — Lac Copaïs, lac Fucino, mer de Harlem, Zuyderzee. — *Polders*. — Le lessivage des plages salines.

Enhardie par la conquête des terres marécageuses, l'agriculture a voulu davantage : il lui faut maintenant s'emparer du fond des lacs et des plages basses recouvertes par les eaux de la mer. Dès l'antiquité, de grands travaux de ce genre avaient été entrepris. Il y a vingt-deux siècles, du temps d'Alexandre de Macédoine, l'ingénieur Kratès s'occupa de vider le lac de Copaïs en Béotie. Pendant de longues séries d'années sèches, ce bassin est en grande partie réduit à des flaques d'eau marécageuse, et de faibles ruisseaux se traînent au milieu de la plaine parmi les joncs. Dans les basses eaux ordinaires, il occupe une étendue d'environ 15,000 hectares et contient une masse liquide de 337 millions de mètres cubes; mais après les fortes pluies d'automne et d'hiver le niveau du lac s'accroît de 6 mètres ou même de 7^{m},40, et 400 millions de mètres cubes s'ajoutent aux eaux d'étiage; la surface du Copaïs est alors de 23,000 hectares [1]. C'est un beau lac incessamment gonflé par les torrents qui descendent de l'Hélicon et des autres montagnes voisines. Les eaux des grandes crues, séparées de la mer par un large rempart de rochers calcaires, ne trouvent d'issue que par des fissures profondes ou *katavothra*. Kratès essaya de les rectifier de manière à faciliter l'écoulement des eaux; mais, depuis cette époque, ils se sont obstrués, et l'on n'a pas encore donné suite au projet de restaurer et de compléter l'œuvre des anciens Grecs.

L'industrie moderne a été plus heureuse sur le sol

1. Burnouf, *Lac Copaïs, Archives des Missions scientifiques*, 1850, p. 133. — Sauvage, *Annales des Mines*, 4e série, t. X.

d'Italie en reprenant et en achevant une œuvre de desséchement que n'avaient pas su terminer les Romains. Le lac Fucino, situé à 80 kilomètres à l'est de Rome, près des villes d'Avezzano et de Celano, occupe le milieu d'un cirque des Apennins, en forme de cratère, dont les talus sont couverts d'habitations et de champs cultivés. Parfois les crues inondaient toutes les campagnes environnantes et détruisaient les récoltes; puis les eaux se retiraient et l'air était rempli de miasmes empestés : l'écart entre les niveaux des

LAC COPAIS.

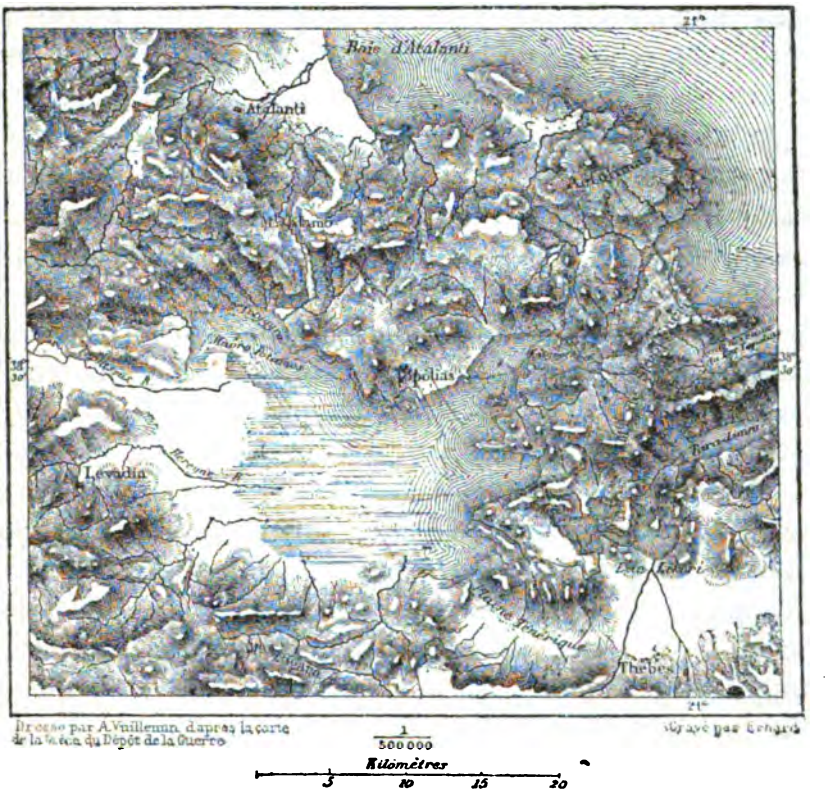


Fig. 194.

grandes crues et de l'étiage n'était pas moindre de 12 mètres. Du temps de Claude, 30,000 esclaves travaillèrent pendant onze ans à creuser un tunnel de 5,625 mètres à travers le Monte-Salviano, afin de conduire la plus grande partie des

eaux dans le Liris et de là dans la mer. On croyait l'œuvre heureusement achevée pour des siècles, comme l'avait été, plus de quatre cents ans auparavant, le souterrain trois fois moins long du lac d'Albano, près de Rome : il ne restait plus qu'à lever les écluses. L'empereur, vaniteux et cruel, avait préparé une fête splendide sur le lac : dix-neuf mille gladiateurs, montés sur deux flottes ennemies, devaient figurer devant lui, pour célébrer l'inauguration du canal. La tuerie eut lieu en effet; mais quand l'ordre de vider le lac fut donné, l'eau, mêlée de sang, refusa de s'enfuir : Narcisse et d'autres courtisans enrichis aux dépens du trésor public avaient sans doute gardé l'argent nécessaire aux travaux de consolidation. Plus tard, et à diverses époques, le canal fut nettoyé et rendit quelques services pour un temps plus ou moins long. Enfin, en 1862, les travaux ont été repris d'une manière sérieuse, l'émissaire a été élargi, une masse d'eau d'un milliard de mètres cubes, contenue dans le lac au-dessus du niveau du tunnel, a été vidée, les fièvres paludéennes ont cessé leurs ravages, et les cultures s'avancent graduellement vers le centre de l'ancien bassin lacustre. Au milieu de l'année 1868, les quatre cinquièmes de la surface étaient asséchés, et plus de 7,330 hectares étaient couverts de moissons.

Toutefois, parmi les grandes entreprises modernes d'assèchement, la plus importante, à cause des obstacles qu'il s'agissait de surmonter et du profit qu'on a su en tirer, est celle qui a reconquis en entier et rendu au continent tout le fond du lac connu sous le nom de mer de Harlem. Ce lac, paraît-il, avait commencé à se former au XIIIe siècle, et, depuis cette époque, n'avait cessé de grandir aux dépens des cultures et des bourgades environnantes. Au XVIe siècle, il était déjà mer, et des batailles navales avaient été livrées sur ses flots entre les Hollandais et les Espagnols. Chaque nouvelle tempête ajoutait à son domaine, et pendant l'hiver de 1836 un furieux vent d'ouest lui fit atteindre les portes d'Amsterdam. Les levées circulaires, entretenues à grands frais, étaient impuissantes à contenir les eaux, incessamment

grandissantes. C'est alors, en prévision de l'imminent danger des empiétements de la mer de Harlem, qu'on résolut de la dessécher. Elle avait 21 kilomètres de longueur, 10 kilomètres de largeur, 4 mètres de profondeur moyenne, et contenait une masse liquide évaluée à 724 millions de mètres cubes. En outre, il fallait compter aussi les eaux d'infiltration et de pluie qui devaient pénétrer dans le lac pendant la durée des travaux d'épuisement, soit environ 200 millions de mètres cubes d'eau. En 1852, l'œuvre immense était accomplie : trois énormes machines à vapeur, pompant ensemble à chaque coup de piston 200 mètres cubes d'eau, avaient rendu toute la mer de Harlem à l'Océan. Actuellement la vapeur n'a plus qu'à débarrasser l'ancien bassin lacustre des eaux de pluie et d'infiltration, ou bien qu'à lui fournir, pendant les sécheresses, l'eau nécessaire à son irrigation. En effet, la terre du fond, longtemps privée d'air et de soleil, n'a pu se changer que graduellement en un sol arable absorbant facilement les eaux de pluie ou les rendant rapidement en vapeur : il a fallu, dit un auteur, l'aider par une machine à faire « son éducation[1] ». Les fonds argileux et tourbeux du lac qui, depuis les travaux d'asséchement et de drainage, se sont affaissés d'environ 30 centimètres, sont maintenant changés en de belles cultures, et la richesse totale de la Hollande s'en est accrue dans de fortes proportions. L'œuvre d'épuisement a coûté 33 millions de francs, et les « polders », dont l'aspect, il faut le dire, manque singulièrement de pittoresque, représentent déjà une valeur d'au moins 150 millions.

Du reste, la Hollande n'était-elle pas en grande partie une vaste mer de Harlem, que, par son labeur, continué de siècle en siècle, le peuple énergique et tenace des Pays-Bas a fini par vider? A la vue de ce sol uni, dont chaque motte a été tant de fois retournée, de ces canaux d'écoulement et de ces digues de défense qui partagent le pays en un nombre infini de parcelles, on sent que toute une nation se trouve

1. E. Marzy, *l'Hydraulique*, p. 235.

aux prises avec la nature, et qu'agissant elle-même à la manière d'une force géologique, elle ne cesse, pendant toute la série des générations, de porter ses efforts vers cette grande œuvre de la conquête et de la mise en culture du

POLDERS DE HARLEM.

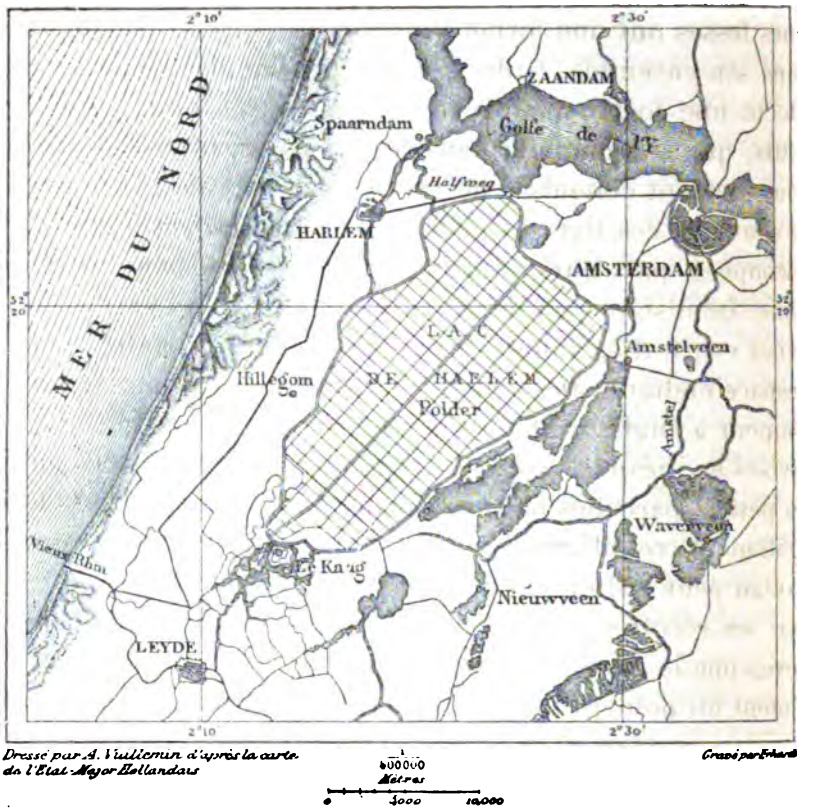


Fig. 195.

sol. Il est probable que tôt ou tard le vaste Zuyderzee sera aussi repris sur l'Océan; on peut même dire que l'œuvre est commencée, puisque l'île d'Ameland, qui borde à l'orient l'entrée de la mer intérieure, doit être prochainement rattachée par des digues au continent. L'œuvre de l'asséchement complet eût été sans doute entreprise si la plus grande partie du fond de ce golfe ne consistait en sables fins, difficiles à mettre en culture.

Les terrains repris sur la mer ou sur les marécages,

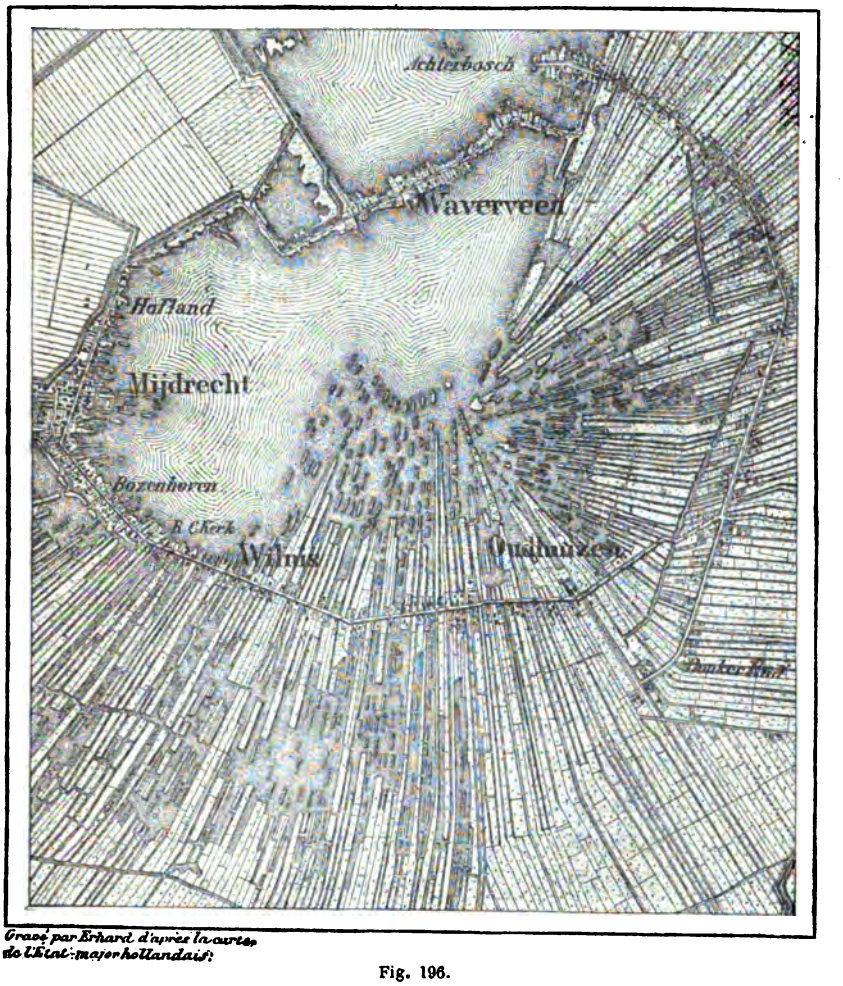
depuis des siècles déjà, n'offrent pas une régularité géométrique dans le réseau de leurs canaux et de leurs rigoles d'écoulement. Autrefois les ingénieurs, moins hardis que ceux de nos jours, utilisaient pour leurs travaux de canalisation toutes les petites coulées naturelles et contournaient les renflements à peu près desséchés du sol, de sorte que leurs fossés ont une forme sinueuse et parfois tremblotante. Dans son ensemble, ce lacis de veines liquides entre-croisées affecte une forme analogue à celle des vaisseaux, grands et petits, qui se ramifient dans les corps organisés. Les terres nouvellement conquises ne présentent point dans leur système de drainage ces lignes sinueuses et pittoresques; elles sont découpées par leurs canaux avec une régularité mathématique. De distance en distance sont creusés des canaux rectilignes et parallèles, qui s'étendent de l'un à l'autre bout de l'espace endigué. Des artères maîtresses de même largeur les coupent à angle droit, et tous les champs se trouvent ainsi divisés en grands parallélogrammes, subdivisés eux-mêmes en petites parcelles par des canaux moins larges et des fossés également rectilignes: c'est en bateau seulement que le paysan peut visiter son domaine, porter des engrais ou charger ses récoltes. Autour de ce vaste damier de cultures se développe le canal de ceinture qui reçoit les eaux d'écoulement du polder et que de fortes digues protégent contre les inondations venues du dehors ou du dedans. Jadis c'était le vent qui se chargeait de soulever l'eau surabondante des polders et de la déverser directement ou par des canaux dans quelques fleuves de la Hollande. Les pompes d'épuisement étaient mises en activité par ces pittoresques moulins à vent que les peintres hollandais nous montrent dans tous leurs paysages; mais de nos jours les grands polders, auxquels il est indispensable d'assurer un égouttement certain et régulier, sont pourvus de machines à vapeur qui puisent l'eau dans le canal de ceinture.

Lorsque les étangs à dessécher sont trop profonds pour qu'on puisse les conquérir à la culture par de simples fossés et des canaux, il ne reste qu'à les vider hardiment comme on

a vidé la mer de Harlem, ou bien il faut se résigner à travailler pendant des siècles pour élever sur la nappe des eaux de petits îlots qui seront ensuite reliés les uns aux autres. Les vaillants agriculteurs des Pays-Bas, sentant qu'à travers les âges ils s'unissent à leurs descendants, n'ont pas craint d'entreprendre cette tâche, que leurs petits-neveux termineront un jour. Ils endiguent d'abord sur les rivages les terrains bas qu'il leur est relativement facile de dessécher, puis, dès que les atterrissements ont fait surgir une vasière au-dessus de l'eau, vite ils s'en emparent, ils la redressent, la drainent et lui donnent une forme allongée qui facilitera plus tard le travail de canalisation quand l'étang sera changé en polder. Plusieurs générations à l'avance, ils prévoient déjà quelle sera la disposition des campagnes qui s'étendent aujourd'hui sous les eaux, et chaque pelletée de boue qu'ils ramènent du fond de l'étang, chaque pilotis qu'ils enfoncent dans la vase doit servir à la continuation de l'œuvre. On peut se faire une idée de la merveilleuse patience et de l'esprit de méthode avec lequel procèdent les paysans néerlandais, quand on parcourt le Zuyder-Polder et tant d'autres régions qui sont encore partiellement des lacs et qui sont déjà des campagnes. Les maisons des villages sont construites en une longue rue circulaire sur les plates-formes des digues qui entourent l'étang, et les champs, séparés par des canaux, rayonnent comme les baguettes d'un éventail autour du centre de la nappe d'eau. Ailleurs, suivant la configuration des espaces lacustres ou marécageux que l'on travaille à dessécher, les polders affectent d'autres formes non moins régulières : ce sont des carrés, des étoiles, des polygones concentriques. Vues du haut d'un ballon, certaines parties de la Hollande, avec les innombrables lignes grisâtres de leurs fossés et de leurs canaux, rappellent vaguement la surface de ces corps chimiques cristallisés en aiguilles rayonnantes ou parallèles. L'étonnante régularité du paysage n'est troublée que par les amas de constructions des grandes villes, les parcs qui les entourent, les routes et les chemins de fer qui traversent obliquement les fossés parallèles.

Habitués à conquérir le sol par la canalisation, les Hollandais procèdent souvent de la même manière dans les terres qu'il serait facile de mettre en culture autrement, et

ZUYDER-POLDER.



Gravé par Erhard d'après la carte de l'état-major hollandais.

Fig. 196.

jusque sous le climat tropical de Java, ils ont transformé les environs de leurs cités en de petites Hollandes. A l'est des Pays-Bas, les Frisons, les Ditmarches, les habitants du Slesvig, aux prises avec les mêmes difficultés, ont également pu les vaincre, et changer en polders d'immenses surfaces de terres noyées. Sur les côtes orientales de l'Angleterre, les

plages de Suffolk et de Norfolk, les golfes du Wash et du Humber sont bordés de *fens* d'une extrême fertilité, et les empiétements de l'agriculture sur l'Océan s'y opèrent sur la plus grande échelle. De même dans les Flandres de Belgique et de France, aux environs d'Ostende, de Dunkerque, de Calais, les *watteringhes* et les *moëres* ont été reprises sur la mer du Nord. Près d'Étaples, la mer intérieure du Ponthieu ou de Marquenterre a été transformée en de belles campagnes; entre les embouchures de la Loire et de la Charente, les terres des marais sont partout protégées par des digues et coupées de fossés que franchissent paysans et paysannes en s'appuyant sur leurs longues perches; au sud de la Gironde s'étendent aussi de « petites Flandres », et dans les Landes, l'étang d'Orx a été récemment desséché par les mêmes procédés que la mer de Harlem.

En Hollande et dans tous les autres pays riverains de la mer du Nord, il suffit d'endiguer et de dessécher à la surface les espaces marécageux du littoral pour les transformer en champs fertiles, propres, après un certain nombre d'années, à toutes les cultures que comporte le climat. Sur les bords de la Méditerranée, de la Caspienne et de plusieurs autres mers, les choses ne se passent pas ainsi. Là, les terrains jadis inondés par les eaux salées restent toujours plus ou moins saturés de sel et se refusent à la culture permanente. Aussi vaut-il mieux, en maints endroits, les utiliser comme marais salants. L'eau marine, promenée de compartiment en compartiment, s'évapore au soleil, et finit par laisser sur le fond une mince couche de sel que les sauniers recueillent et dressent en grandes pyramides au bord des chemins de service. C'est principalement sur les plages de la Méditerranée occidentale que cette industrie est importante; certaines salines du littoral y produisent chaque année dix mille, vingt mille et jusqu'à soixante-dix mille tonnes : cette énorme quantité est celle que livrent annuellement au commerce les salines d'Aigues-Mortes et de Peccais, à l'ouest de la Camargue.

D'où provient le contraste entre la fertilité naturelle des polders de la Hollande et l'aridité des terrains émergés

des côtes méditerranéennes? Il faut en chercher surtout la cause dans la plus ou moins grande abondance des eaux douces qui viennent laver le sol. Sur les rivages de la mer

SALINES DE TRAPANI.

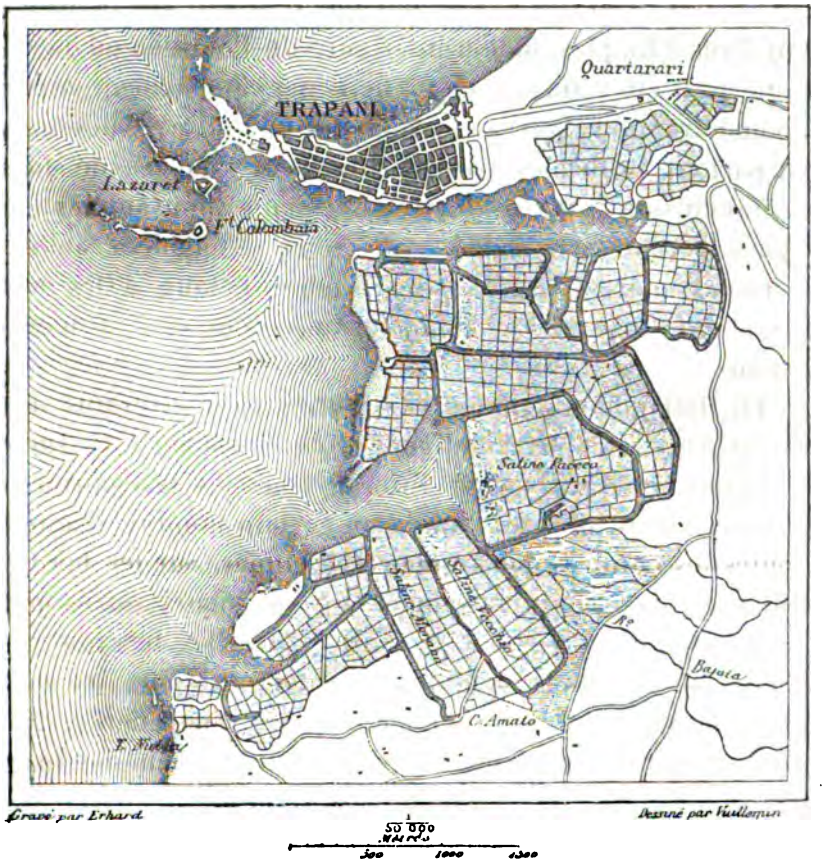


Fig. 197.

du Nord, l'air est naturellement humide et la quantité d'eau pluviale qui arrose les campagnes est relativement très-considérable. La terre poreuse ne cesse d'être lavée par les pluies, et graduellement tout le sel de la surface est entraîné : presque aussitôt après l'endiguement, la culture des polders peut commencer. Il est vrai que, sur les bords de la Méditerranée, les pluies dissolvent également les parties salines et les emportent dans le sous-sol; mais par suite de l'évapo-

ration, qui est très-active sous ce climat, l'eau du fond remonte peu à peu à travers les pores avec le sel qu'elle tenait en solution, puis elle se vaporise en laissant sur le terrain une croûte saline plus ou moins épaisse. Un mouvement de va-et-vient s'établit ainsi entre la superficie et les couches profondes; les pluies font descendre le sel, l'évaporation le fait remonter et les vents de la mer ajoutent encore une légère couche saline à celle qui se trouvait déjà dans le sol. Tour à tour des flaques d'une eau presque douce et des efflorescences salines recouvrent la surface du terrain; les plantes qu'essayerait d'y cultiver le laboureur seraient ou noyées par les eaux ou brûlées par le sel.

Heureusement la connaissance du mal a fait découvrir le remède. Puisque les pluies entraînent les substances salines dans le sous-sol, de grandes inondations temporaires amèneraient bien plus sûrement encore ce résultat. Après avoir établi à une profondeur convenable un système complet de drainage, il suffit de déverser temporairement un bras de rivière sur les terrains à dessaler; aussitôt le sel des couches supérieures est dissous, entraîné dans les conduits souterrains, et finalement emporté par cette lessive énergique dans un bassin extérieur où fonctionnent les pompes d'épuisement. L'application fréquente de ces procédés de lavage finira par nettoyer de substances salines les terres qui en étaient le plus saturées, et l'agriculture s'enrichira d'un nouveau et fertile domaine. Du reste, ce moyen de conquérir les terrains bas et salés du littoral de la Méditerranée n'est déjà plus une simple spéculation, il a été déjà mis en pratique. Non loin de Saint-Gilles, sur le petit bras du Rhône, et près de Frontignan, aux bords de la petite rivière de la Roubine du Vic, des terrains ont été purifiés ainsi de leur sel et changés en guérets à céréales. D'après M. Duponchel, l'inventeur de ce système de purification du sol, on pourrait créer ainsi sur le littoral de la France méridionale toute une lisière de polders magnifiques, s'étendant sur une superficie de plus de 100,000 hectares et représentant une valeur agricole de 800 millions de francs[1]. Et que serait cette con-

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, II. 1861.

quête, comparée à celles que l'on pourra faire un jour dans toutes les contrées riveraines de la mer et des lacs salés !

V.

Digues du littoral. — Épis de défense. — Pointe de Grave.

Dans toutes les régions de polders situés sur le littoral de l'Océan, les immenses travaux entrepris pour l'assèchement des terres doivent se compléter par un système de fortifications maritimes, car il faut défendre à tout prix contre le choc des vagues et le souffle de la tempête les champs si péniblement conquis. Tout le pourtour de la Zélande, de la Hollande, de la Frise, du Slesvig et des autres « pays-bas » du littoral de la mer du Nord, est bordé d'un rempart continu de digues, hautes de 8 à 10 mètres et larges de 50 à 100 mètres à la base. Toutes ces levées, construites avec le plus grand soin, tournent vers la mer leur longue pente, sur laquelle déferlent les eaux; la berge proprement dite est cuirassée contre la houle par des treillis de poutre, des fascines, ou même par des nattes de paille où glisse la vague en se changeant en écume; du côté des terres, la

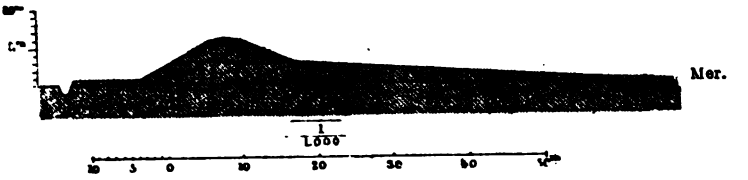


Fig. 198. — Profil de digue du littoral de Frise.

digue, à déclivité plus rapide, est bordée d'un petit canal d'égouttement, où s'amassent les eaux qui filtrent dans le sol ou que les tempêtes ont lancées par-dessus la cime de la levée. Que la mer, en un jour de tourmente, détruise

l'un de ces remparts, une partie des polders est inondée; mais à une certaine distance, s'élève une autre digue, puis au delà, il s'en trouve d'autres encore qui retiennent les eaux débordées. Pendant leur labeur continu de plus de mille années, les paysans, sans cesse aux aguets pour ravir un lambeau de terre à l'Océan, n'ont jamais manqué de construire une levée autour de chaque « batture » de vase laissée par les eaux marines, et les remparts de défense se sont ainsi ajoutés les uns aux autres sur tout le pourtour du territoire; en divers endroits, où le dépôt des vases marines s'accomplit rapidement, les campagnes de l'intérieur sont séparées de la plage par une quadruple ou quintuple cein-

DIGUES D'UITHUIZEN.

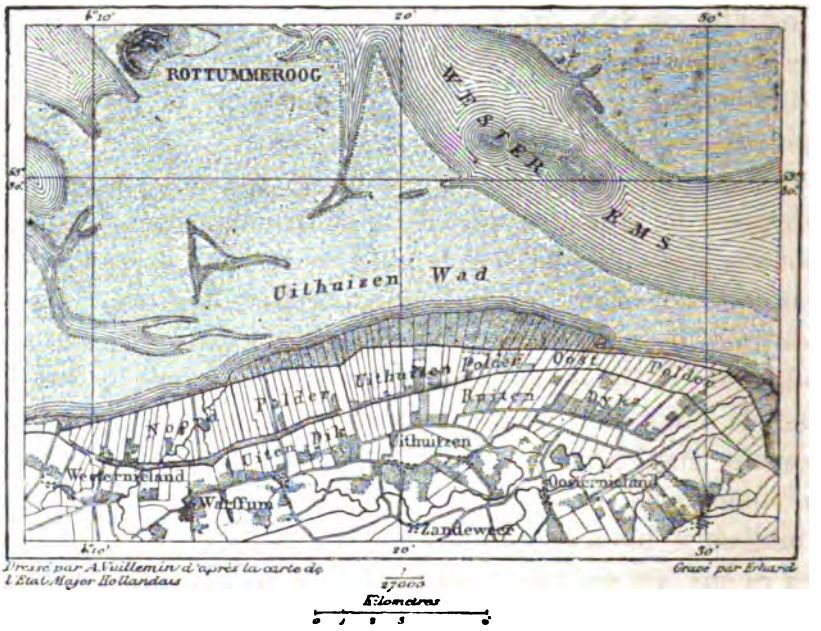


Fig. 199

ture. Il est vrai que lors de terribles tempêtes, dont le souvenir reste dans la mémoire des habitants[1], la mer a repris de vastes étendues de terrains, en échange de celles

1. Voir, ci-dessus, p. 191.

que l'homme avait enlevées à son domaine; mais de nos jours les ingénieurs hollandais, à la fois plus savants et plus riches d'expérience, empiètent régulièrement sur la surface des eaux. On a calculé qu'en moyenne, la superficie des Pays-Bas s'accroît de 3 hectares par jour, ou de 1,000 hectares par an[1] : c'est plus de la quatre millième partie du territoire. La longueur des digues, mises bout à bout, est de plusieurs milliers de kilomètres; elle dépasse de beaucoup le développement des levées riveraines sur les bords du Mississipi et de ses affluents[2].

C'est aux endroits où les courants, les vagues et les vents du large travaillent de concert à entamer la rive, que l'homme a dû faire preuve de la plus grande persévérance et du génie le plus inventif pour lutter contre les éléments. Dans l'île de Sylt, sur la côte du Slesvig, on a eu l'idée de faire collaborer la mer elle-même à la construction des digues qui doivent l'arrêter. On élève, le long de la plage, deux rangées parallèles de palissades, éloignées l'une de l'autre d'une dizaine de mètres. Pendant les tempêtes, les vagues, chargées de sable, se déroulent en grondant par-dessus les fascines, mais elles laissent tomber au milieu des branches les matières arénacées qu'elles transportent; le sable s'amasse entre les deux palissades; bientôt une longue dune d'origine artificielle se dresse au bord de la mer et protége les campagnes de l'intérieur. Malheureusement, de pareils moyens ne peuvent être employés avec succès sur tous les rivages, et notamment sur divers points du littoral hollandais, qui semblent s'enfoncer au-dessous du niveau marin comme un navire qui fait eau. En Zélande, la ville de Westkapelle a été dévorée par les flots qui se sont ouvert une large issue à travers le cordon littoral des dunes. Les maisons ont été reconstruites plus avant dans l'intérieur des terres, sous l'abri d'une énorme digue qui ferme la lacune entre les monticules de sable; mais cette levée a nécessité un travail

1. E. de Laveleye, *Revue des Deux Mondes*, 1er avril 1864.
2. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.

d'entretien et de réparation tellement prodigieux qu'un rem-

JETÉES DE WESTKAPELLE.

Fig. 200.

part en cuivre solide aurait pu être construit à meilleur

compte[1]. De même, par suite d'une large ouverture entre

JETÉES DE PETTEN.

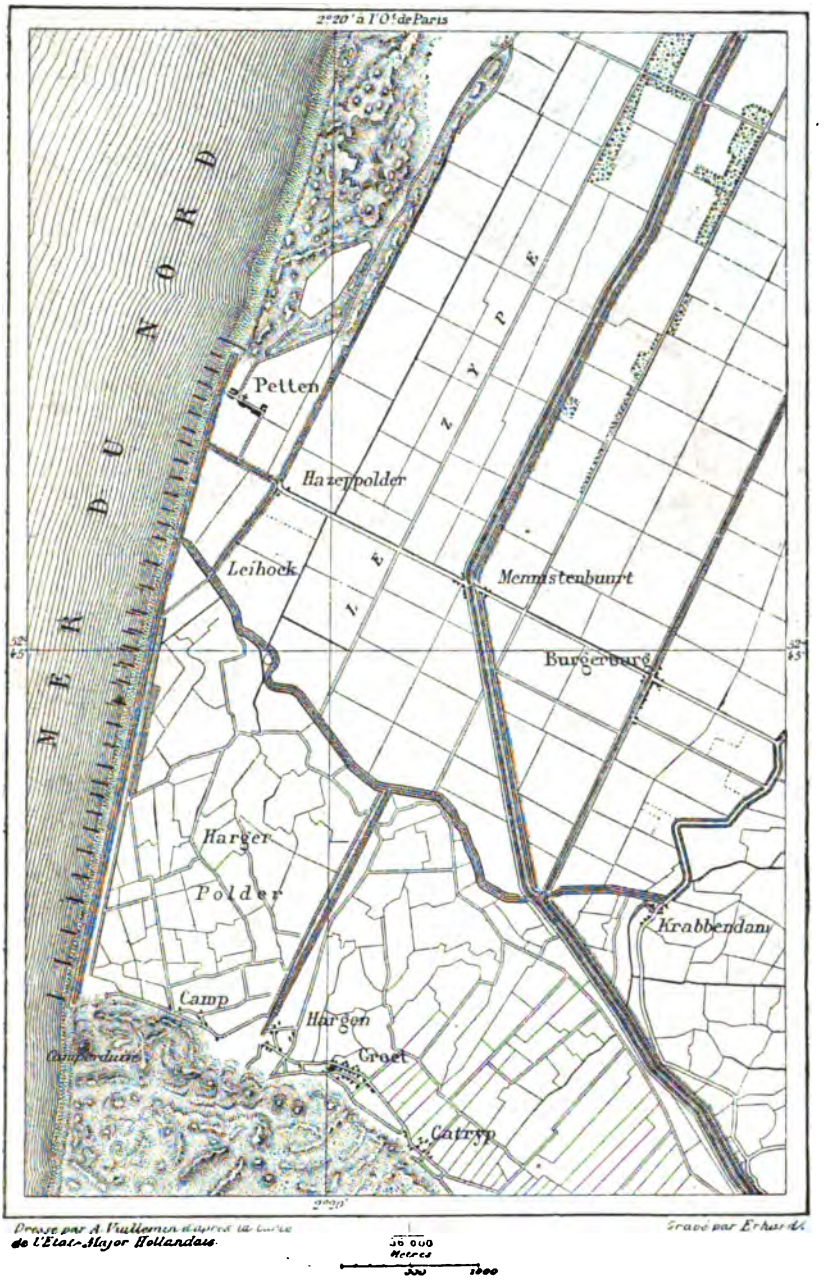


Fig. 201.

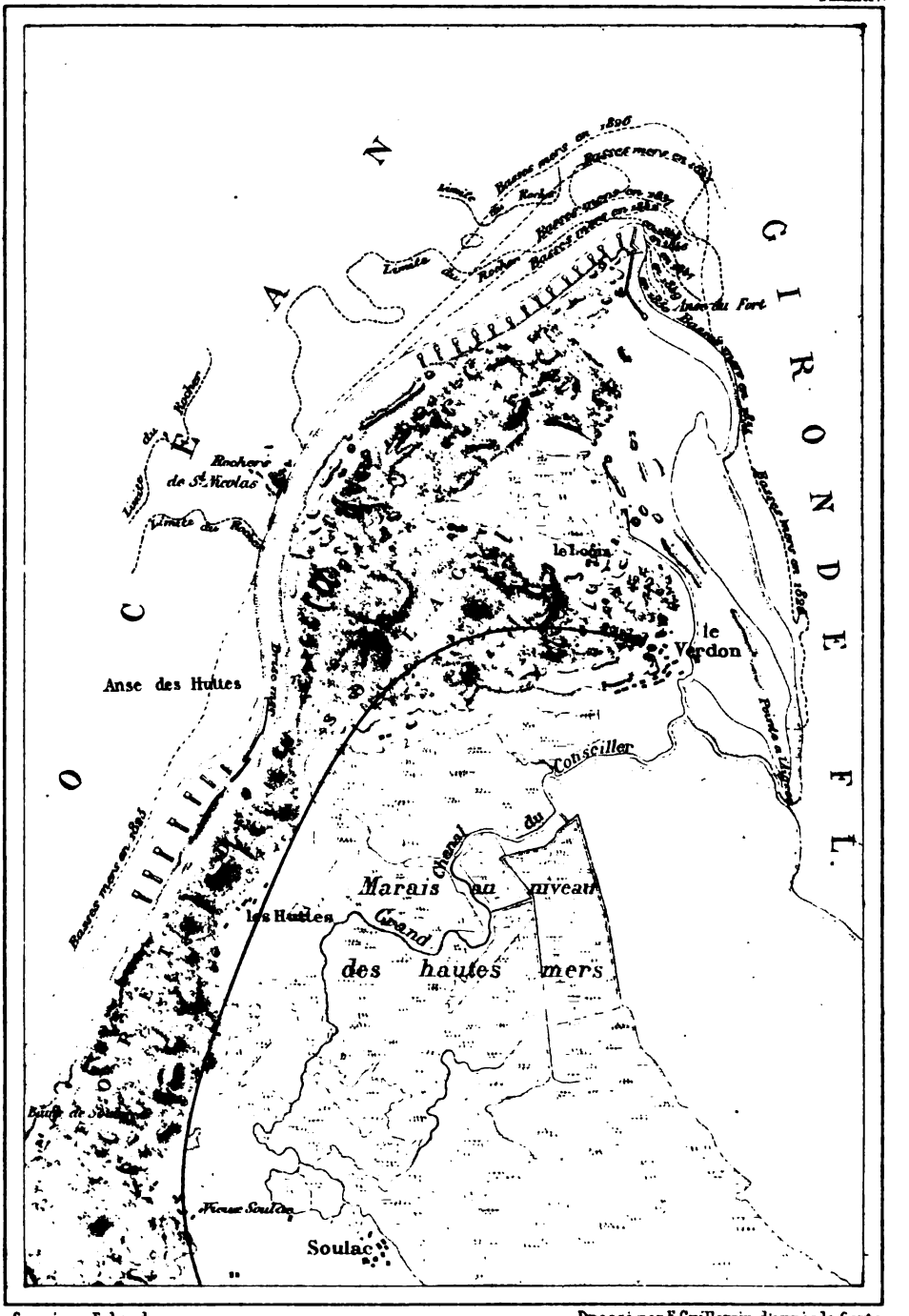
1. Smallegange, *Nautical Magazine*, nov. 1863.

les dunes du littoral, l'isthme de Petten, situé sur la côte occidentale de la péninsule de Hollande, était menacé de disparaître et de laisser Amsterdam et tous les rivages du Zuyderzee sans protection contre les flots de la mer; mais à force de travaux, de digues et d'épis de défense, on a fini par consolider la plage. De nos jours, les habitants de cette partie de la Hollande n'ont plus rien à craindre des invasions de l'Océan.

En France, la Pointe-de-Grave, à l'embouchure de la Gironde, est l'un des endroits où l'homme a le plus à lutter contre les brisants, et qui peuvent le mieux être cités en exemple de la violence de la mer. On sait exactement de combien se sont déplacés les rivages depuis l'année 1818. A cette époque, la Pointe-de-Grave s'avançait dans le golfe de Cordouan à 720 mètres au nord-ouest de sa position actuelle. De 1818 à 1830, elle recula de 180 mètres, ou de 15 mètres par an. De 1830 à 1842, elle perdit annuellement près de 30 mètres. De 1842 à 1846, lorsque les ingénieurs avaient enfin engagé la lutte contre la mer, les flots, dans leur marche triomphante, avancèrent de 190 mètres, c'est-à-dire de près de 48 mètres dans une seule année. Maintenant on jette la sonde à plus de 10 mètres de profondeur là où naguère la plage développait ses contours. Toutes les constructions élevées à l'extrémité de la pointe ont dû être successivement démolies et réédifiées dans l'intérieur de la presqu'île. L'ancien fort qui défendait l'entrée de la Gironde a été renversé par les vagues, et l'on aperçoit encore, aux plus basses mers des équinoxes, des canons gisant sur le sable humide. En 1846, la largeur du détroit qui sépare Cordouan de la péninsule du Bas-Médoc s'était exactement accrue d'un dixième dans l'espace de vingt-huit années.

Tandis que la mer rongeait l'extrémité de la presqu'île, elle cherchait en même temps à en percer la base. Là où se trouve la partie la plus étroite de l'isthme qui réunit les dunes de Grave au Médoc, les flots étaient occupés à creuser une large échancrure connue sous le nom d'anse des Huttes. De 1825 à 1854, la plage reculait de 350 mètres. Au moment

TRAVAUX DE DÉFENSE DE LA POINTE DE GRAVE

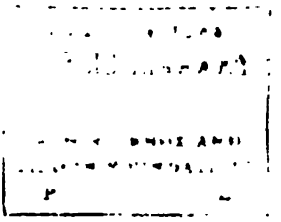


Gravé par Erhard.

Dressé par E. Guillemin, d'après la Carte des Ponts-et-Chaussées

1/5000

1000 500 0 1 2 kil



des basses mers, l'isthme des Huttes, qui se développe entre l'Océan et les marais salants du Verdon, avait encore 400 mètres de largeur, mais à l'heure du flot cette largeur était réduite à 290 mètres, et quand la tempête fouettait les vagues, celles-ci lançaient leur écume jusqu'au sommet des dunes de l'isthme étroit. Encore vingt-cinq années d'une marche aussi rapide, et l'Atlantique rompait enfin la frêle digue de sable que lui oppose le continent; il s'épanchait dans les marais et transformait en île tout le massif de Grave. La Gironde se réunissait à la mer par une deuxième embouchure, et la génération actuelle pouvait contempler des phénomènes géologiques semblables à ceux qui s'accomplirent lorsque l'île de Cordouan, détachée du continent, se changea graduellement en écueil. Il fallait au plus tôt prévenir la ruine de toutes les propriétés situées sur la presqu'île; enfin, chose bien plus importante encore, il fallait laisser aux navires l'abri précaire que leur offre la rade du Verdon, déjà trop exposée à la violence des vents d'ouest par suite de l'érosion constante de la pointe. C'est donc à bon droit qu'on résolut d'accepter la lutte avec l'Océan et de cuirasser la péninsule contre ses assauts à force de remparts.

Pour protéger la plage de l'anse, on construisit treize jetées parallèles, longues de 160 à 180 mètres. Ces épis, composés d'argile compacte, revêtus de pierres solidement agencées, et défendus contre l'assaut des vagues par des fascines et des pieux, résistaient à la fois par leur élasticité et la cohésion de leurs parties. Cependant tous les épis n'étaient pas de force à tenir contre la mer pendant les jours d'orage. Une jetée céda, puis une autre; la construction d'une digue parallèle au rivage de l'anse des Huttes fut décidée. Pendant le cours des travaux, les orages et les vagues de marée assiégèrent souvent la digue et la rompirent en divers endroits; mais les ouvriers, luttant avec succès contre les flots, purent fermer les brèches et consolider les parties de la muraille qui s'étaient affaissées. En mars 1847, après cinq années d'un combat sans cesse renouvelé entre la nature et l'homme, la digue, longue de

1,100 mètres, était enfin achevée, et semblait interdire désormais aux brisants l'approche des dunes. Déjà les ingénieurs se félicitaient de leur œuvre et croyaient avoir dompté l'Océan, lorsque, peu de semaines après l'achèvement complet des travaux, une terrible tempête du sud-ouest déchaîna toutes les eaux du golfe contre la côte du Médoc; les derniers épis de l'anse furent balayés comme des fétus de paille, et la plus grande partie de l'énorme digue fut rompue, emportée, anéantie par les flots exaspérés.

Pour fermer le passage à la mer, on eut à peine le temps de construire, au fond de la concavité du rivage des Huttes, une espèce de pyramide formée d'énormes blocs en béton pesant chacun plusieurs milliers de kilogrammes. Ce musoir aux degrés gigantesques résista solidement aux flots qui l'assaillirent, mais il restait seul chargé de défendre la plage, et l'Océan menaçait de le tourner pour continuer au delà son œuvre d'érosion. La plage de l'anse des Huttes avait reculé de 25 mètres, et, bizarres témoins des envahissements de la mer, deux puits qu'on avait creusés et maçonnés dans le sable des dunes étaient déchaussés jusqu'à la base, et se dressaient comme des tours au bord des flots. La victoire avait été chèrement disputée par l'homme, mais c'était la mer qui l'avait obtenue. Enfin il fut résolu qu'au lieu de construire un simple perré, comme on l'avait fait déjà, on élèverait contre les flots un véritable brise-mer, prenant son origine à l'extrémité méridionale de la baie pour aller rejoindre au nord les écueils de Saint-Nicolas. En avant de ce rempart, on lança des cubes de béton du poids de plusieurs tonnes pour former une espèce de talus en pente douce dont la longueur est égale à dix fois la hauteur du brise-lames. En outre, les clayonnages, menacés par le travail incessant des tarets, furent peu à peu remplacés par de puissantes digues maçonnées. L'Océan n'a point encore franchi cette barrière; les vagues, acharnées à la destruction de l'obstacle, usent tour à tour de force et de ruse pour en venir à bout. Elles déplacent les blocs de béton, enlèvent les sables, lézardent les murailles, y poussent dans tous les

sens leurs travaux de sape et de mine, dénouent ces fascines si habilement tressées, et bondissent par-dessus les constructions pour attaquer la plage qui s'étend au delà.

A la Pointe-de-Grave, la lutte n'a guère été moins vive entre la mer et la volonté de l'homme. Sur la partie du rivage maritime qui s'étend à 2 kilomètres au sud du cap, quatorze épis, semblables à ceux de l'anse des Huttes, s'avancent dans la mer. A la pointe même, l'épi est remplacé par une jetée de 120 mètres de long, composée de blocs artificiels et naturels qu'on a précipités dans les flots du haut des wagons de transport. L'extrémité sous-marine de la jetée se continue au loin sous les eaux par des entassements de rochers que des chaloupes viennent déposer quand la mer est favorable. Telle est cependant la violence des lames que ces rochers, pesant en moyenne plus de 2 tonnes, sont très-souvent déplacés par la rencontre du jusant et du flot de marée, et sont entraînés en dérive dans la direction du large. Sous le choc des vagues, la jetée elle-même se fendille dans toute sa largeur, et les ouvriers doivent de temps en temps recharger les talus, maçonner les lézardes, consolider les blocs dont l'équilibre est menacé. Parfois aussi les eaux creusent des cavernes sous les rochers de la base : il faut alors descendre à marée basse pour boucher les excavations, en fortifier les abords, en interdire l'approche à l'ennemi.

Irritée de l'obstacle infranchissable que lui oppose le puissant brise-lames de la pointe, la mer s'est acharnée sur la langue de sable qui s'étend en arrière de la jetée. Prenant le rivage à revers, les vagues ont agrandi sans relâche la petite anse du Fort tournée du côté du fleuve, et de 1844 à 1854, lorsque déjà la plage maritime était à peu près fixée, celle qui fait face à la Gironde recula de plus de 500 mètres, c'est-à-dire de 50 mètres par an. Encore quelques années, et la péninsule amincie était complétement percée, le phare et les autres édifices étaient emportés, et la jetée, séparée du continent, n'était plus qu'un écueil battu des flots. Il fallait donc à tout prix fermer le passage à la mer en construisant à l'anse du Fort un brise-lames semblable à celui qu'on avait

déjà construit à l'anse des Huttes. C'est là ce qu'on a fait depuis et ce qui permet enfin de faire succéder la période de simple surveillance à la période de lutte qui avait duré déjà vingt années entre l'homme et l'Océan. Les travaux, heureusement complétés, donnent enfin un démenti à la superstition générale qui attribuait aux flots une force irrésistible. La puissance des vagues océaniques, comme celles des ondes aériennes que pousse la tempête, peut être exactement évaluée en tonnes ou même en kilogrammes, et pour vaincre leur effort brutal, l'homme n'a qu'à leur opposer une résistance supérieure, mesurée par ses calculs. Bien plus, il est probable qu'une connaissance approfondie des lois hydrologiques permettra d'utiliser un jour ces mêmes forces auxquelles il est actuellement si difficile de résister : la marée, le jusant, les vagues de tempête, parfois si terribles, auront aussi leur œuvre à faire, et leur action, bien dirigée, deviendra un instrument de l'homme.

VI.

Voies de communication naturelles et artificielles. — Plages, déserts et savanes. — Rivières, canaux, chemins de fer. — Ponts et viaducs. — Percement des isthmes. — Canal de Suez. — Isthmes de l'Amérique centrale.

Tous les progrès réalisés dans la conquête du sol auraient été impossibles si les peuples ne s'étaient mis en rapport les uns avec les autres par des communications fréquentes; c'est ainsi que les denrées se sont échangées de climat en climat, que les idées sont devenues un patrimoine commun, et que l'intelligence créatrice des travailleurs a pu se développer et grandir.

Les premiers chemins qu'ont employés les hommes pour voyager et transporter leurs produits, sont les routes naturelles qu'offrent les plages de l'Océan, les déserts de sable,

d'argile ou de roche dure dépourvue de toute végétation, la surface horizontale ou les longues ondulations des prairies et des savanes. Grâce à ces voies de communication toutes faites, les peuples, que les eaux, les forêts et les montagnes séparaient les uns des autres, ont appris à se connaître; mais les rapports qu'ils avaient entre eux n'en restaient pas moins très-difficiles. Les plages sont coupées de fondrières et d'embouchures fluviales dangereuses à traverser; les déserts, les savanes sont le royaume de la faim, et le voyageur qui s'y aventure sans vivres est certain d'y périr. Depuis des milliers d'années et des milliers de siècles, ces voies naturelles sont toujours aussi périlleuses qu'elles l'étaient lorsqu'on s'y hasarda pour la première fois : c'est par son industrie seulement que l'homme a pu se créer des chemins plus sûrs et plus commodes.

L'invention des radeaux et des barques donna d'autres routes aux peuples; elle leur livra le cours sinueux des fleuves, ces « chemins qui marchent ». C'était un progrès immense pour les communications entre les peuples, puisque chaque rivière avec ses affluents relie les uns aux autres tous les pays de son bassin; mais à son tour, ce progrès a été dépassé. Dans les contrées civilisées de l'Europe, où l'homme se fait peu à peu une nature à son gré, ces cours d'eau capricieux, aux longs méandres, aux périlleux rapides, aux crues soudaines, aux étiages prolongés, ne peuvent plus convenir aux commerçants et aux voyageurs, devenus de plus en plus exigeants pour la vitesse et la régularité. La navigation intérieure diminue, excepté sur les embouchures fluviales qui sont en même temps des estuaires marins, et que l'art de l'ingénieur transforme graduellement en canaux réguliers ayant une grande profondeur normale : c'est ainsi que pour la Clyde, le lit, qui se trouvait, il y a un siècle, à 1 et 2 mètres seulement au-dessous de la surface, est maintenant creusé à 7 mètres et demi, de sorte que les grands navires peuvent toujours remonter librement aux quais de Glasgow. Dans l'intérieur des terres, les voies d'eau naturelles sont abandonnées pour les voies d'eau artificielles dont l'homme

peut régler la direction et la profondeur à son gré; elles sont abandonnées surtout pour les routes carrossables, construites dans tous les sens à travers le territoire en un immense lacis, et pour les chemins de fer, sur lesquels la vapeur per-

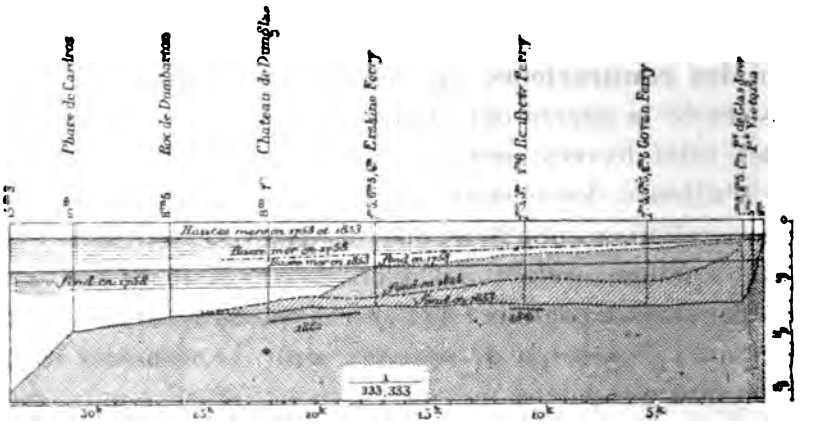


Fig. 202. — Profondeurs successives de la Clyde.

met d'obtenir une vitesse bien plus grande encore. Déjà, nous l'avons vu [1], des ingénieurs se sont hasardés à demander nettement la suppression de nos rivières d'Europe, la Loire, la Garonne, le Rhin, comme voies de communication et l'utilisation de leurs eaux pour l'arrosement des campagnes. « Les rivières ne sont des chemins que pour les sauvages, et le civilisé reconnaît pour seules voies de transport celles qu'il a créées de toutes pièces. » En effet, les centaines de millions et même les milliards qu'a coûtés la Loire depuis le commencement du siècle, en réparations de digues, de levées et de maisons, en renflouements de bateaux, en cultures reprises, n'auraient-ils pas amplement suffi pour la construction d'un double chemin de fer dans toute la longueur de la vallée et pour un système d'irrigation complet qui eût transformé en un immense jardin ces campagnes, toujours menacées d'un désastre par les eaux grossissantes?

Les voies ferrées sont incontestablement, parmi toutes les grandes inventions modernes, celles qui contribuent le plus

1. Voir, ci-dessus, p. 655.

au mouvement des voyages, à la diffusion des idées et à la répartition des richesses de la terre. Les services qu'elles ont déjà rendus à l'humanité sont incalculables, et cependant la puissance de la routine, les exigences du fisc, les barrières de douanes, l'avide système de monopole et de lucre pratiqué par les compagnies, le manque de larges vues d'ensemble parmi les constructeurs du réseau, les inquiétudes et les désastres de la guerre ont singulièrement retardé l'impulsion que les voies ferrées auraient pu donner à l'activité des peuples. D'ailleurs, les chemins de fer sont encore en très-petit nombre, relativement à l'étendue des terres : la longueur totale en est actuellement de 195,000 kilomètres, soit un seul kilomètre par surface continentale de 660 kilomètres carrés. Aucune des grandes lignes qui doivent traverser d'une mer à l'autre mer les diverses parties de l'ancien monde n'est complétement terminée. La plus longue, qui commence à Cadix, et qui se développe sur un espace de 5,962 kilomètres, par Madrid, Paris, Berlin, Saint-Pétersbourg, Moscou, ne dépasse point encore Nijni-Novogorod dans les plaines de la Russie : une longueur double reste à franchir avant que les rails atteignent les bords de la mer d'Ochotzk. La ligne transversale qui des bords du Pas-de-Calais se dirige vers Constantinople se trouve, depuis plus de dix années déjà, arrêtée par le cours du Danube. Quant au nouveau monde, il possède depuis 1869 un chemin de fer de 6,000 kilomètres de long, qui traverse le continent de l'Atlantique au Pacifique, de Portland et de New-York à San-Francisco, et qui est déjà devenu l'une des principales artères commerciales du globe.

Très-peu nombreux sont encore les districts dont « l'outillage » de chemins de fer est à peu près complet. L'un des plus riches sous ce rapport est la partie du Lancashire où fut ouverte la première voie ferrée importante, celle de Manchester à Liverpool, et où Stephenson lança sa première locomotive. Sur ce sol classique de l'industrie, on compte plus de 1 kilomètre de chemin de fer sur 4 kilomètres carrés de surface. Aussi la grande facilité des communications a-t-elle eu pour résultat d'attirer vers ces contrées des populations vrai-

ment énormes, relativement au peu de superficie qu'elles occupent. De même Londres, vers laquelle les voies de fer convergent de tous les points de l'horizon, augmente de 50,000 habitants par année, et, dans sa marche grandissante, ne cesse d'englober dans son enceinte les villes, les villages, les hameaux des environs. Déjà elle contient à elle seule plus du sixième de la population de l'Angleterre, ce qu'on a tâché

CHEMINS DE FER DU LANCASHIRE.

Fig. 203.

de figurer par la carte suivante, où Londres, Manchester et Liverpool sont représentées avec une superficie proportionnelle au nombre de leurs habitants. Quelques régions très-peuplées de la Belgique, de la Prusse rhénane, du Massachusetts sont aussi parcourues de voies ferrées dans tous les sens; mais partout ailleurs, si ce n'est dans le voisinage des capitales, le réseau est encore loin d'être achevé. Des continents sont presque entièrement dépourvus de voies de com-

munication rapides. L'Amérique du Sud, deux fois grande comme l'Europe, n'a guère plus de 3,500 kilomètres de rails. En dehors de l'Hindoustan, le continent d'Asie n'a que le chemin de fer de Smyrne à Éphèse; l'Afrique n'a point de lignes ferrées, si ce n'est au nord et au sud, dans les deux

POPULATIONS COMPARÉES DE LONDRES ET DE L'ANGLETERRE.

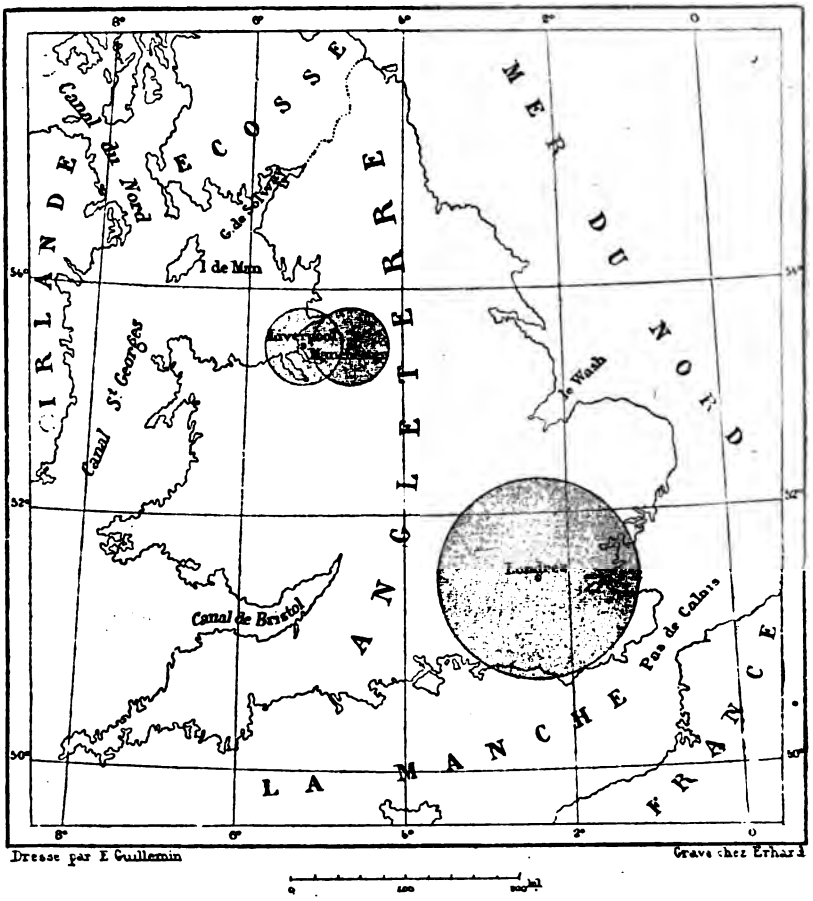


Fig. 204.

colonies de l'Algérie et du Cap, et dans le bassin du Nil qui, pour le commerce, est aussi une colonie de l'Europe.

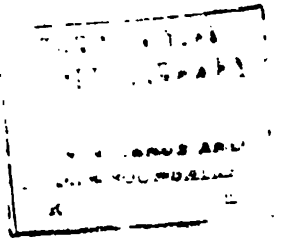
Depuis quarante années, soixante milliards ont été dépensés dans les diverses contrées pour la construction des chemins de fer, et ce n'est là pourtant qu'une faible somme,

comparée à celle qu'il faudra dépenser encore pour la continuation et l'accomplissement de l'œuvre entreprise : il est vrai que ces dépenses, bien différentes de celles que les hommes emploient à s'entre-détruire ou à se défendre les uns des autres, en bâtissant des murailles de Chine ou des remparts armés de canons, servent à créer de nouvelles richesses et à rendre les peuples amis. Quoique faible encore, la fraction des épargnes nationales qui peut échapper aux crimes de la guerre, à la rapacité du fisc et aux gaspillages de la débauche sert cependant à mener à bonne fin d'énormes travaux, que nos ancêtres n'auraient pas osé rêver et qu'on ne songe point toutefois à signaler comme des « merveilles du monde », parce que des œuvres plus grandes seront tentées un jour : les Pyrénées, les Cévennes, les Vosges, le Jura, l'Alp wurtembergeois, les monts de la Bohême, les Apennins sont franchis par les rails; la locomotive gravit Sierra-Nevada de Californie, s'élève jusqu'à 2,140 mètres, et plus à l'est, elle passe sur le col d'Evans, dans les montagnes Rocheuses à 2,520 mètres de hauteur. Dans le continent américain du Sud, on travaille à une voie ferrée qui franchira les Andes péruviennes à plus de 4,000 mètres de hauteur. Au Sœmmering, au Brenner, les Alpes se sont aussi abaissées sous la main de l'ingénieur; le Saint-Gothard, le Simplon, le mont Genèvre vont être franchis à leur tour; enfin on a su mener à bonne fin le percement d'un tunnel de 12,220 mètres au-dessous des montagnes de Fréjus, entre le village français de Modane et le bourg italien de Bardonnèche, tandis qu'à 27 kilomètres à l'est, un chemin de fer provisoire, suivant les contours et gravissant les rampes de la route carrossable du mont Cenis, passe à 2,098 mètres de hauteur, puis descend en lacets dans l'abîme au fond duquel est placée la ville de Suze. Du temps d'Annibal et des Romains, et jusqu'aux premières années de ce siècle, on ne pouvait se rendre de la Maurienne en Italie que par les sentiers des deux monts Cenis, ou par de redoutables passages, coupés de précipices, et presque tous obstrués par les glaciers. Depuis 1810, une route permettait aux voyageurs des deux peuples de commu-

LIBRARY

Dressée par A. Vuillemin, d'après la carte de l'Etat Major Piémontais

Gravé chez Erhard



niquer en tout temps, et maintenant la pression des deux courants commerciaux qui demandent à se rejoindre à travers le rempart des Alpes est si forte qu'il a fallu improviser un chemin de fer de construction spéciale pour attendre la grande voie internationale qui supprime les Alpes entre Paris et Turin.

Les ingénieurs qui percent les montagnes ne craignent pas davantage de suspendre les voies ferrées au-dessus des grands fleuves ou même des bras de mer. Au Canada, un pont-viaduc, long de plus de 3 kilomètres, franchit le Saint-Laurent; non loin de la cataracte du Niagara, un autre pont, portant quatre lignes de chemins de fer, traverse l'abîme dans lequel vient de plonger le fleuve. En Angleterre, le détroit d'Anglesey, les estuaires de la Mersey, de Saltash et d'autres encore sont franchis par de magnifiques ponts-tubes; tôt ou tard, les deux rives du « Phare » de Messine et celles du canal de Lépante seront réunies aussi par un viaduc où les convois passeront en grondant; le Bosphore subira le pont que déjà Michel-Ange voulait construire. Depuis plusieurs années, les ingénieurs proposent à l'envi de supprimer la lacune du Pas-de-Calais entre le réseau du continent et celui de la Grande-Bretagne, soit en creusant un tunnel au-dessous de la mer, soit en jetant un pont de 30 kilomètres entre les deux falaises. Ce n'est point là un rêve chimérique : l'argent dépensé pour les terribles fêtes de Solferino, de Sadowa ou de Sedan suffirait amplement à cette œuvre. En quelques années, l'industrie aurait reconstruit cet isthme que les flots ont mis des milliers de siècles à détruire.

De même que les détroits ne doivent plus arrêter la locomotive, de même les isthmes ont à s'ouvrir pour la navigation. Déjà les anciens s'étaient essayés dans ces grands travaux, mais leurs tentatives n'aboutirent à aucun résultat définitif. Ainsi les Grecs, et après eux les Romains, du temps de Néron, commencèrent à diverses reprises les tranchées d'un canal entre les deux baies de la mer Ionienne et de l'Archipel que sépare l'isthme de Corinthe. A l'endroit choisi, les terrains à percer n'ont pas même une largeur de 6 kilomètres et s'élè-

vent des deux côtés en pente douce jusqu'à un seuil de 80 mètres de hauteur. En tenant compte des petites dimensions nécessaires à un canal destiné aux galères grecques et romaines, ce travail de creusement n'offrirait aujourd'hui rien

ISTHME DE CORINTHE.

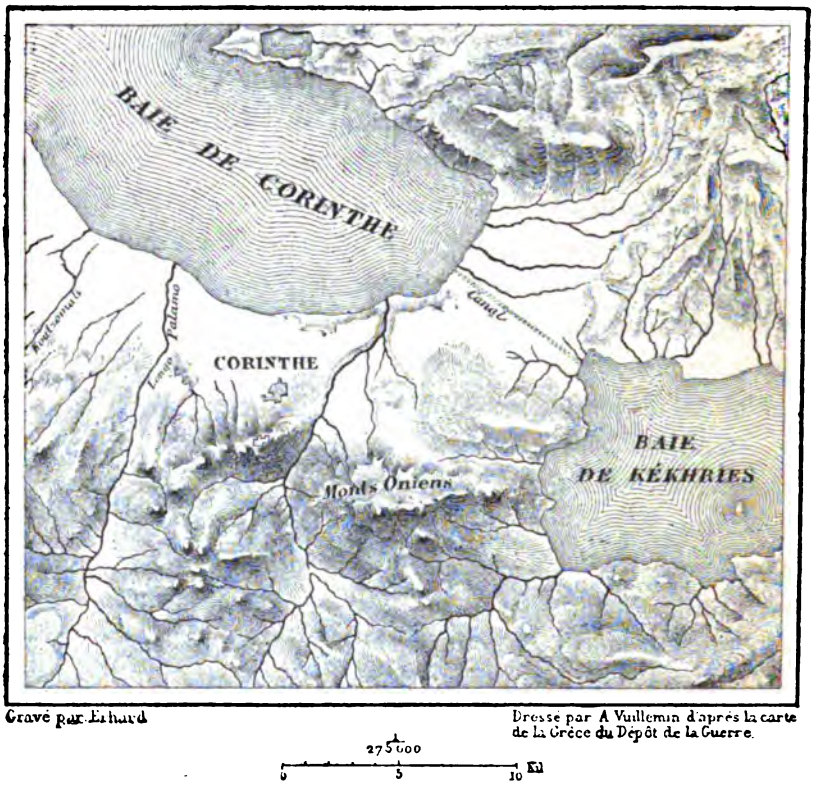
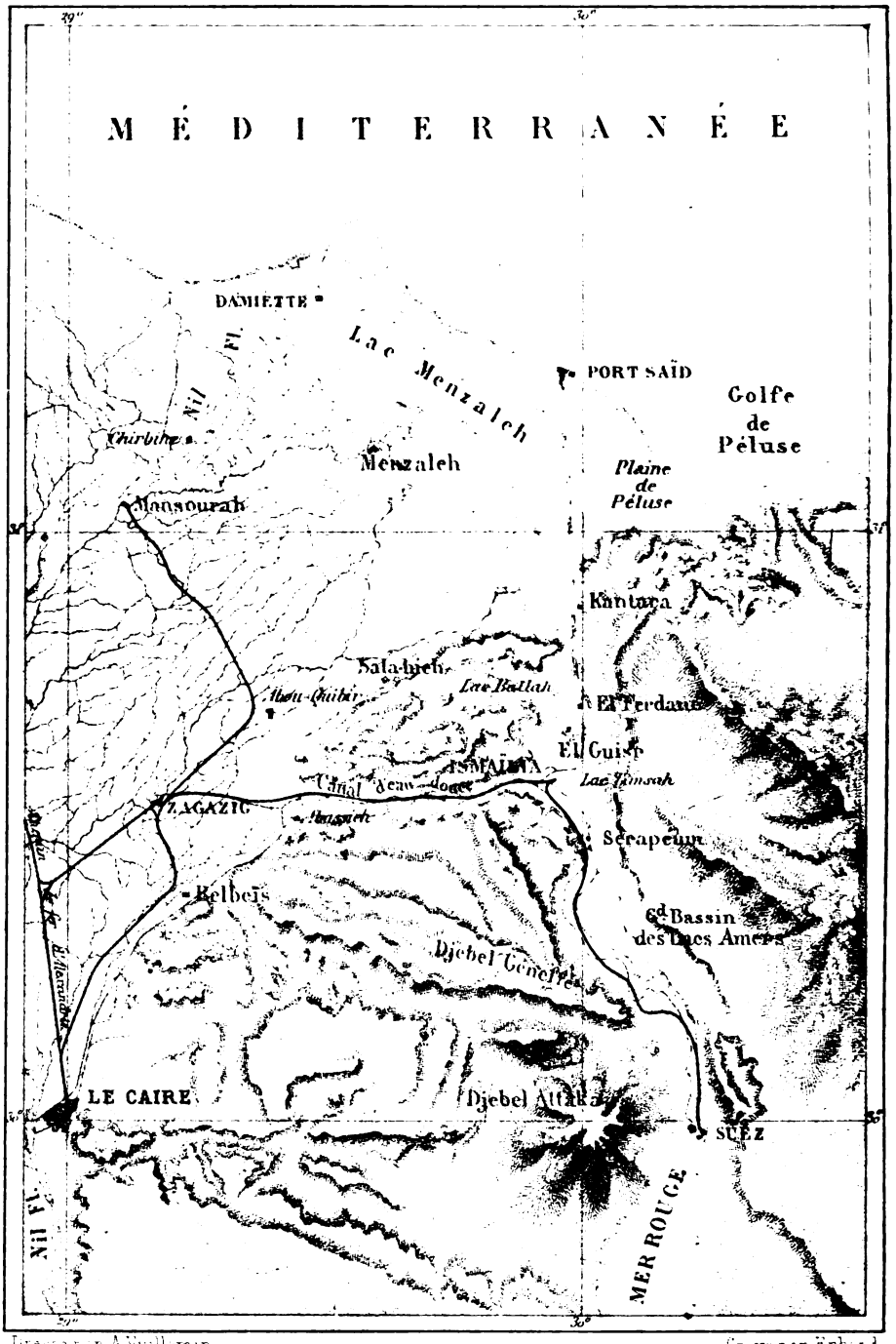


Fig. 205.

d'extraordinaire ; mais les difficultés en parurent insurmontables aux ingénieurs de l'antiquité, et les embarcations qui se rendaient d'un golfe à l'autre golfe durent continuer de faire le grand circuit autour des promontoires et des îles du Péloponèse, assaillis par les flots de la haute mer. L'œuvre de percement vient d'être reprise et sans nul doute, elle sera terminée. Le canal commencé doit être ouvert en 1878 ; il aura 7 mètres et demi de profondeur.

Le canal de navigation creusé par le Pharaon Néchao, il

[illegible]



Dressé par A. Vuillemin — Gravé par Erhard

1 / 1000000 Kilomètres. 5 10 20 30 40

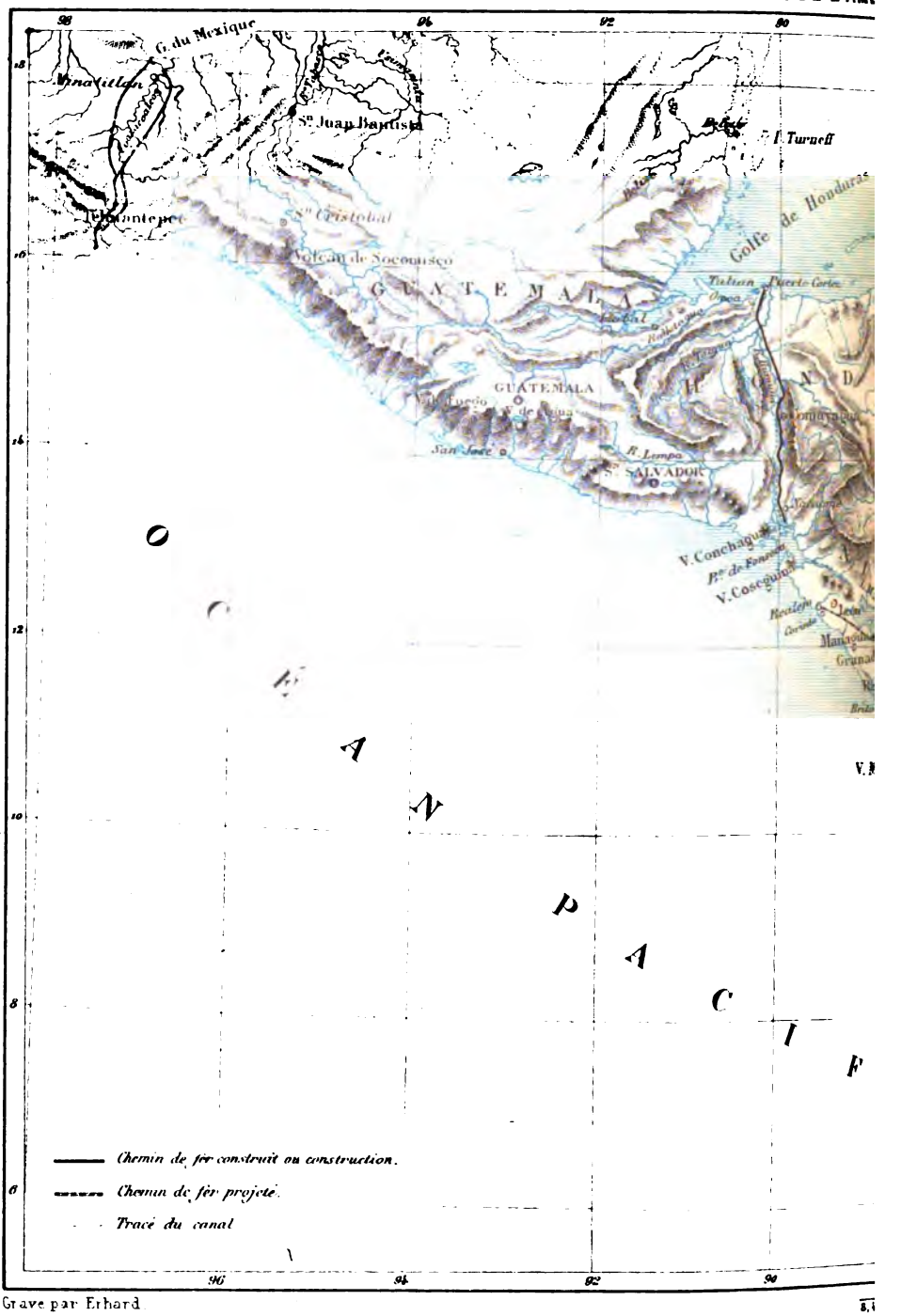
y a près de vingt-cinq siècles, entre le cours du Nil et le golfe de Suez, était plus facile à mener à bonne fin que la percée de l'isthme de Corinthe, car il s'agissait uniquement de tracer, à travers des terres basses, plus populeuses et plus fertiles qu'elles ne le sont aujourd'hui, une rigole de dérivation, apportant à la mer Rouge les eaux douces du fleuve. Darius rouvrit le canal oblitéré. Ptolémée II Philadelphe reprit cette œuvre, longtemps abandonnée, puis à son tour Adrien fit recreuser le canal; après quelques siècles d'interruption, le calife Omar le fit rétablir par son lieutenant Amrou, et, pendant plus de cent années, cette voie d'eau facilita les échanges entre le delta du Nil et les villes de l'Arabie. De nos jours, ce canal d'eau douce, recreusé sans peine par les ingénieurs francs, sert non-seulement au transport des denrées entre le bassin fluvial et la mer Rouge, il alimente aussi d'eau pure la ville de Suez, exposée à mourir de soif à cause du manque de fontaines et de pluies, et renouvelle l'ancienne fécondité dans les terres, naguère dépourvues de toute végétation, qui bordent ses deux rives. Mais ce canal, plus utile et certainement plus durable que nos ancêtres n'avaient su le faire, n'est qu'un simple détail dans l'œuvre grandiose commencée en 1854. Le grand canal, auquel on a travaillé pendant seize années, est un véritable bras de mer de 164 kilomètres de longueur, qui rétablit entre la Méditerranée et l'océan Indien l'ancienne communication détruite peu à peu pendant le cours des âges géologiques. Le canal, assez profond pour recevoir les navires d'un très-fort tirant d'eau, assez large pour que les convois de bâtiments puissent s'éviter, est en outre pourvu de vastes ports intérieurs, où peuvent remiser des flottes entières, et de deux magnifiques ports extrêmes, dont l'un, celui de Port-Saïd, est déjà, après celui de Marseille, le plus commode et le plus sûr de toute la Méditerranée. La masse de terre qu'il a fallu déplacer pour ouvrir la route aux navires et creuser le canal d'eau douce n'est pas moindre de 83 millions de mètres cubes, c'est-à-dire que, si l'on entassait tous ces déblais, ils se dresseraient en une pyramide d'un kilomètre de côté à la base et de 250 mètres de hauteur. En outre, il a fallu verser par la

mer Rouge dans les lacs Amers deux milliards de mètres cubes d'eau. Par suite de l'attraction que l'immense chantier ne pouvait manquer d'exercer sur les populations de l'Égypte et de l'Europe, le désert s'est peuplé et parsemé de jardins et d'oasis; deux villes importantes, Port-Saïd et Ismaïlia, ont surgi des sables; près de cinquante mille habitants se sont établis à demeure dans ces plaines, où jadis le voyageur ne s'aventurait qu'en tremblant. Et que sont ces premiers groupes de colons, en comparaison de ceux qui accourront de toutes parts lorsque Port-Saïd et Suez auront tourné à leur profit une grande partie de cet énorme trafic de 6 millions de tonnes qui contourne annuellement le cap de Bonne-Espérance, en allongeant ainsi sa route normale de 12,000 kilomètres par traversée? Certes, on peut bien dépenser 450 millions de francs pour une pareille entreprise, alors que les négociants d'Amsterdam n'ont pas hésité, afin d'épargner à leurs navires le petit détour par le Zuyderzee et le passage du Texel, à faire construire un premier canal de 78 kilomètres à travers la péninsule de Hollande, puis un autre de 27 kilomètres seulement, qui ne leur coûtera pas moins de 60 millions. Ce dernier canal coupe la péninsule à la racine et passe à travers d'anciennes lagunes et les marais de l'Ij, transformées rapidement en de magnifiques polders.

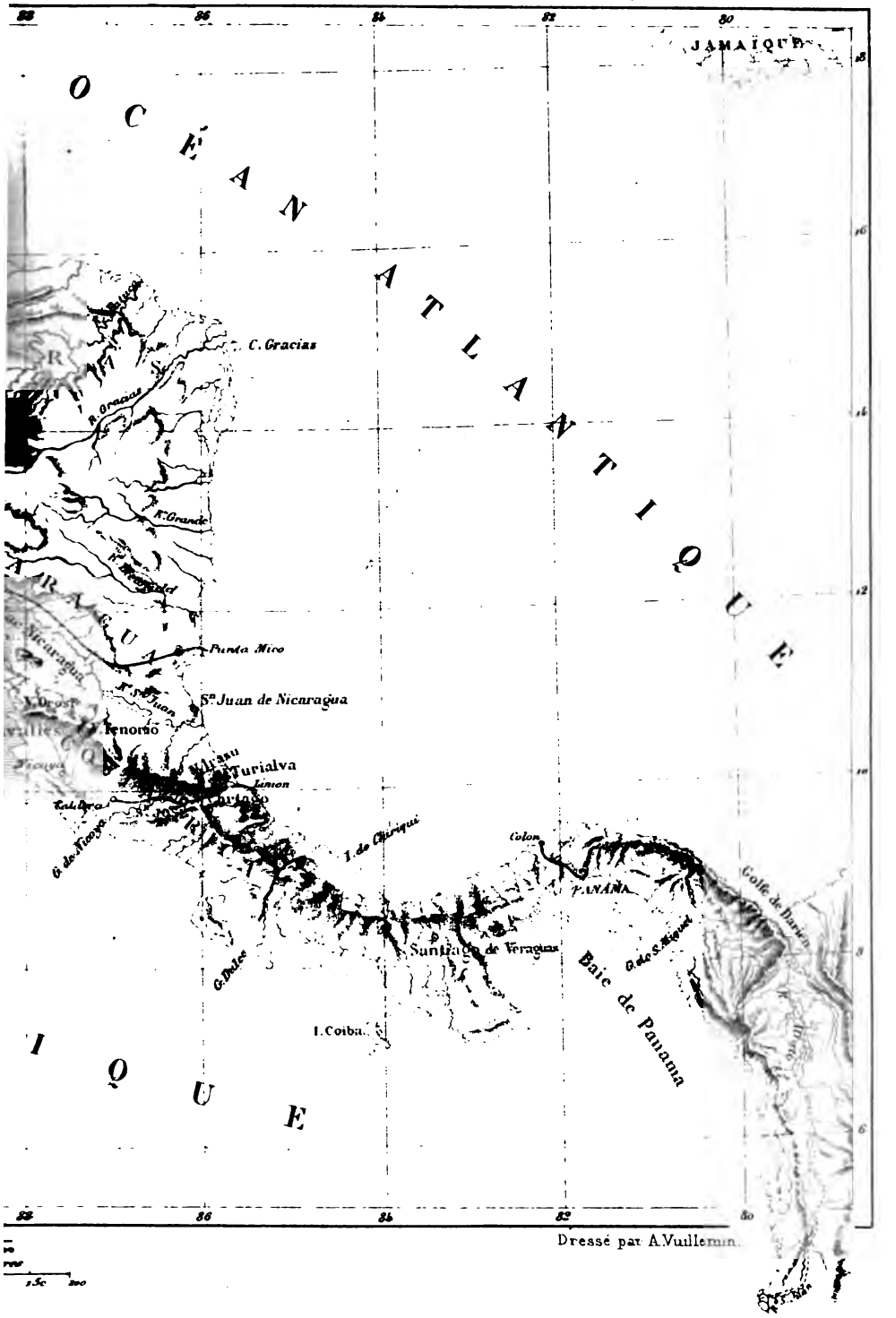
L'ouverture du canal de Suez doit naturellement se compléter tôt ou tard par la coupure de l'un des isthmes de l'Amérique centrale. En 1528 déjà, Cortez, après avoir constaté qu'il n'existe point de détroit entre le golfe du Mexique et la mer du Sud, s'occupait des moyens de le créer en perçant l'isthme de Tehuantepec par un canal de navigation. Depuis que les anciennes colonies américaines, devenues terre libre, sont dégagées des entraves commerciales qui en faisaient le fief de quelques maisons de Séville et de Cadix, les projets de percement se sont succédé en foule, les uns rédigés au hasard par des ignorants ou des aventuriers sur des cartes de fantaisie, les autres étudiés avec tout le soin que permettait d'y apporter la connaissance du pays, et présentés par des hommes d'une valeur scientifique. Les parties de l'Amérique centrale à

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS



Grave par Erhard


JAMAÏQUE
OCÉAN ATLANTIQUE
C. Gracias
R. Grande
Punta Mico
Sn Juan de Nicaragua
Lenorno
Turialva
Limon
Colon
PANAMA
Golfe de Darien
Santiago de Veragua
Baie de Panama
I. Coiba
G. Dulce
G. de Nicoya
I. de Chiriqui
Dressé par A. Vuillemin

NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

travers lesquelles les ingénieurs ont fait ainsi passer à l'envi leurs divers tracés de canaux à écluses ou sans écluses comprennent sans exception tous les étranglements de la grande terre de jonction entre le Mexique et la Colombie. L'isthme de Tehuantepec, celui de Honduras, la vallée du San-Juan et l'étroite zone de campagnes qui sépare les eaux du Pacifique de celles des deux lacs de Nicaragua et de Managua, l'isthme de Chiriqui, le rio Chagres et Panama, le Darien, faible pédoncule qui rattache au continent du Nord la masse énorme du continent méridional, et qui en certains endroits n'a pas plus de 23 kilomètres, de marée à marée, enfin le bassin de l'Atrato et de plusieurs de ses tributaires ont été tour à tour prônés comme les endroits où devait nécessairement s'ouvrir la grande porte commerciale du monde. D'après M. Jules Flachat, les sommes que demanderait la plus facile de ces diverses entreprises, au nombre de dix-neuf à vingt, celle du Nicaragua, atteindraient au moins le chiffre de 320 millions, et le percement le plus coûteux, celui qui emprunterait le cours de l'Atrato et du Truando, reviendrait à 750 millions de francs. Le commandant Selfridge, de la marine américaine, qui a fait l'exploration la plus complète de l'isthme, et qui propose de faire passer le canal de l'Atrato à la baie de Napipi, sur le Pacifique, fixe le devis de cet immense travail à près de 700 millions. C'est là peu de chose, comparé aux trésors qui se dépensent chaque année pour acheter des armes de guerre et fondre des balles et des boulets; mais c'est beaucoup pour une œuvre d'intérêt universel dont le résultat serait de rapprocher les continents les uns des autres et de hâter le jour de la grande réconciliation.

VII.

Puissance industrielle de l'homme. — Le télégraphe électrique. — Prise de possession de la mer. — L'ostréiculture.

Des statisticiens ont calculé qu'en l'année 1860, toutes les machines travaillant dans la Grande-Bretagne au profit de l'industrie représentaient une somme d'activité égale à celle de 1,200 millions d'hommes valides : c'est beaucoup plus que la force collective de l'humanité tout entière, car parmi les 1,300 millions d'êtres humains, les trois quarts sont trop faibles, trop jeunes ou trop âgés pour fournir un travail soutenu. Et pourtant cette énorme puissance industrielle de l'Angleterre s'accroît chaque année d'une force équivalente à celle de plusieurs dizaines de millions de « bras » ; en France, en Allemagne, en Italie, aux États-Unis, dans l'Amérique du Sud, en Hindoustan, en Chine, au Japon, en Égypte, dans tous les pays où la civilisation importe ses machines, l'accroissement des moteurs appliqués au travail s'accomplit suivant une proportion analogue ou plus rapide encore. Grâce au souffle de l'air, aux courants d'eau, à la vapeur et aux autres agents naturels que l'homme a chargés de son propre labeur, l'industrie achève chaque année une besogne de plus en plus grande et contribue sans cesse plus activement à modifier l'aspect de la planète.

Et que sont les merveilles d'aujourd'hui, comparées à celles que la science nous fournira un jour les moyens d'accomplir? Quand nous pourrons saisir et lier, pour la faire travailler à notre service, la puissance que le souffle continu d'un ouragan des Antilles exerce dans un espace restreint; quand nous pourrons nous emparer de la force d'impulsion développée par les vagues qui se brisent pendant un hiver orageux sur la digue de Cherbourg, ou bien encore des flots

de marée qui recouvrent chaque mois les plages de la baie de Fundy; quand nous saurons enlever leur terreur aux volcans et nous concilier ces forces redoutables des laves et des gaz comprimés qui s'agitent dans les profondeurs, quelles œuvres seront assez colossales pour que notre siècle de travail et d'audace recule devant elles[1]? Ce que les hommes ont fait jusqu'à maintenant n'est qu'un jeu, nous pouvons l'affirmer sans crainte, en proportion de ce qu'ils pourront faire dans l'avenir, lorsque leurs forces, au lieu de se neutraliser les unes les autres, s'uniront pour travailler de concert. Si nos rudes ancêtres qui habitaient les cavernes à l'époque de l'âge de pierre revenaient parmi nous, ils seraient sans aucun doute trop ignorants pour comprendre, ou même pour admirer les immenses progrès accomplis depuis les âges de barbarie[2]. Et nous, sommes-nous assez avancés aujourd'hui pour nous faire seulement une idée de ce que sera la surface de la planète quand l'homme l'aura, pour ainsi dire, recréée à son gré, avec les moyens, de plus en plus puissants, que lui fournit la connaissance de la nature et de ses phénomènes?

Parmi les conquêtes industrielles de la science moderne, celle qui peut nous donner la plus haute espérance relativement aux progrès futurs de l'humanité, c'est la télégraphie électrique. Par cette invention, l'homme cesse d'être attaché à la partie de la glèbe sur laquelle il rampe si lentement, il dégage sa liberté des obstacles que lui imposait la distance et devient présent sur tous les points de l'espace que le fil conducteur met en rapport avec sa pensée. A la puissance de ses machines, que l'on pourrait comparer à la force musculaire, il ajoute la force nerveuse que lui donnent ces fibres tendues dans tous les sens; les nouvelles, transmises de cellule en cellule, arrivent à son cerveau de toutes les extrémités du monde, et ses volontés repartent aussitôt pour traverser les continents et se transformer en actes de l'autre côté de la planète.

La construction des télégraphes électriques n'a commencé

1. George P. Marsh, *Man and Nature.*
2. Grove, *Address to the British Association,* Nottingham, 1866.

qu'une dizaine d'années après celle des premiers chemins de fer; mais, grâce à la simplicité relative qu'offrent les travaux d'établissement des fils, la longueur totale des lignes de télégraphes dépasse déjà de beaucoup celle des voies ferrées. Moyennant une dépense d'environ un milliard de francs, on a pu tendre entre les diverses stations près de 600,000 kilomètres de fils, et plus d'un million de kilomètres, si l'on compte tous les fils doubles ou multiples des lignes importantes : c'est une longueur égale à celle d'une hélice qui entourerait trente fois la terre à l'équateur. Chaque année, les nouveaux fils qui se déroulent suffiraient à compléter un nouveau tour d'hélice sur la rondeur de la planète : c'est la portée de la volonté humaine qui se prolonge d'autant sur le domaine qu'elle a fait sien par l'industrie.

Ce n'est pas seulement à la surface des continents, c'est aussi dans les profondeurs des mers que le fluide électrique transmet la pensée humaine autour du globe. Par une quinzaine de fils qui reposent sur le lit de la Manche et de la mer du Nord, la Grande-Bretagne est rattachée aux côtes de France, de Belgique, de Hollande; la Scandinavie est reliée directement à l'Allemagne à travers la Baltique; la Sicile, la Sardaigne, sont devenues terres italiennes en dépit de la Méditerranée. On se rappelle encore avec quelle émotion furent accueillis les premiers échanges de pensées dardés d'une rive de l'Atlantique à l'autre, sous l'immense couche d'eau, profonde de 4,000 mètres et large d'un huitième de la circonférence terrestre. Ces premières paroles que l'ancien monde envoyait au nouveau étaient des paroles de paix et de bonne volonté; tous comprenaient que la grande fraternité humaine venait de s'affirmer d'une manière solennelle; en dépit des obstacles de toute nature, en dépit des continents, des mers et de l'espace, les peuples épars commençaient à se sentir une âme commune. Après avoir transmis ces paroles de paix, puis griffonné quelques syllabes indistinctes, le câble transatlantique, comme épuisé par ce premier effort et cessant de vivre, pour ainsi dire, refusa tout service aux savants électriciens qui le sollicitaient des deux côtés de l'Océan : le silence reprit

son empire à travers l'étendue des eaux. Mais les persévérants Anglo-Saxons ne sont pas restés sous le coup de la défaite; de nouveau, ils fabriquèrent des milliers de kilomètres de fil; de nouveau, ils chargèrent leurs ingénieurs et leurs marins les

CABLES ÉLECTRIQUES DE PARIS A NEW-YORK.

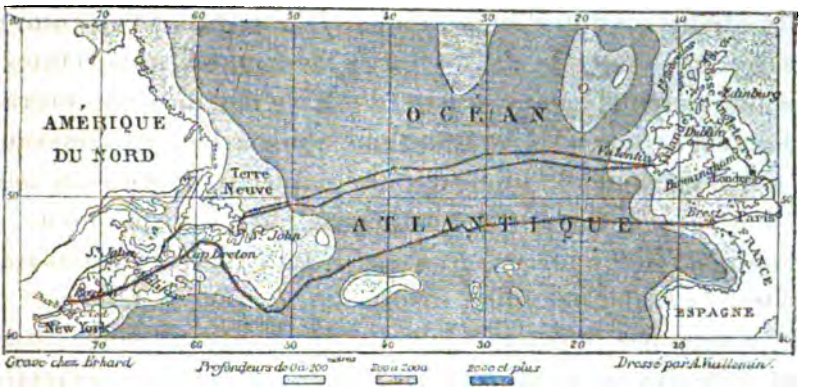


Fig. 206.

plus habiles de le déposer au fond de l'Océan; puis, avec une anxiété plus grande qu'à la veille d'une bataille décisive, ils virent leur plus beau vaisseau s'éloigner en déroulant le câble qui devait les unir à leurs frères d'Amérique. Nouvel insuccès : le fil se rompit en pleine mer. N'importe, ils en posent un troisième, et le puissant *Great-Eastern* accomplit la traversée de l'Atlantique, sans cesser un instant de communiquer avec les côtes de l'Irlande, comme s'il eût laissé derrière lui un long sillage électrique. Actuellement, trois télégraphes sous-marins rejoignent les continents opposés, et l'on s'occupe d'en placer d'autres encore. Toutefois, des lignes assez courtes n'ont pu être établies d'une manière permanente : les câbles se sont toujours rompus; ceux de la Méditerranée orientale, de la mer Rouge, de l'océan Indien, ont été aussi très-fréquemment brisés. Une longueur totale de 35,000 kilomètres de fils télégraphiques a été posée au fond de la mer entre les diverses parties du monde, leurs îles et leurs presqu'îles; mais il n'existe pas encore une seule ligne continue qui ceigne en entier la rondeur de la planète à travers les masses continentales et les

profondeurs océaniques. La ligne de San-Francisco à Sydney par New-York, Londres, Vienne, Constantinople, Bagdad, Calcutta, Singapore, n'a pas moins de 30,000 kilomètres.

Les grandes choses accomplies déjà sur les bords et dans les gouffres de l'Océan permettent de dire que l'homme en a pris possession. La mer n'est plus aujourd'hui « l'infranchissable abîme », et le marin peut l'explorer dans presque toute son étendue. Près de deux cent mille navires parcourent les eaux entre les rivages des continents et des îles; en certains détroits, comme celui de Gibraltar, passent dans l'année jusqu'à 10 millions de tonneaux de marchandises; plus d'un million de matelots ont fait leur patrie des vagues redoutées, et la moitié de leur vie se passe loin des côtes sur des embarcations que balance le flot, que secoue la tempête. Les traversées maritimes deviennent de plus en plus fréquentes, et c'est maintenant par centaines de mille que l'on compte le nombre des voyageurs qui se déplacent chaque année de l'un à l'autre bord de l'Atlantique : ils égalent en multitude les passagers qui franchissent, entre la Grande-Bretagne et le continent, les étroites mers du Nord, du Pas-de-Calais et de la Manche. Non-seulement les ports naturels que forment les anses du littoral et les embouchures de rivières sont améliorés par les travaux hydrauliques de toute espèce, mais de nouveaux ports sont ouverts aux navires sur les côtes les plus dangereuses. Ainsi les redoutables écueils de Holyhead, de Kingston, de Howth, et les îlots rocheux de Cherbourg, de Plymouth, ont servi de points d'appui à des jetées et à des digues enfermant de vastes surfaces où les grands vaisseaux trouvent un abri sûr. Ailleurs, comme à l'embouchure du Danube, les deux rives ont été prolongées au loin dans la mer jusque dans les eaux profondes[1]. A Portland, on a renversé le sommet d'une colline dans la mer pour en construire un énorme brise-lames enfermant tout un golfe où pourraient manœuvrer des flottes entières. On parle même de construire des ports en pleine mer, de même qu'on a déjà établi des

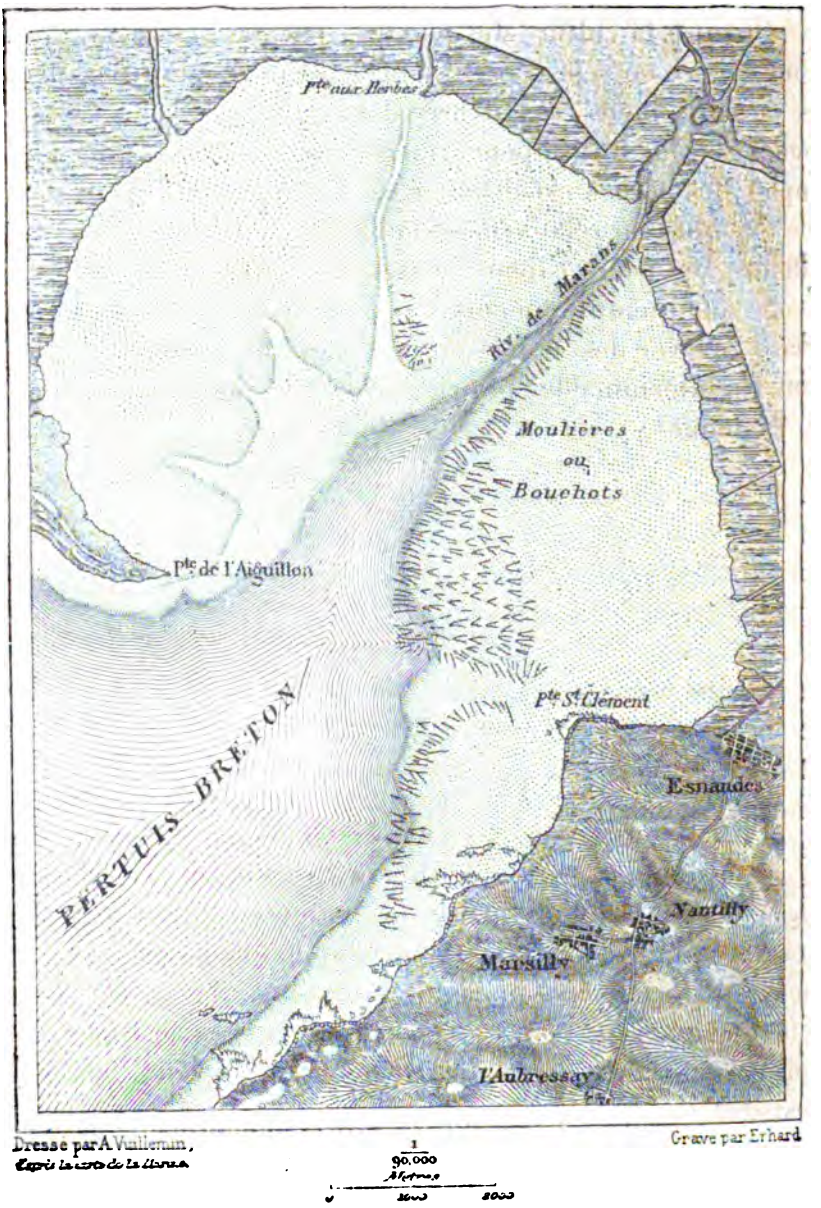
1. Voir, dans le premier volume, le chapitre intitulé *les Rivières*.

stations télégraphiques flottantes au large de la Manche et de la mer d'Irlande. M. Thomé de Gamond proposait d'utiliser le banc de Varnes, au milieu du Pas-de-Calais, pour établir un grand port de refuge sur le chemin parcouru chaque année par plus de cent mille navires.

Une autre tentative de prise de possession des mers est celle qu'a faite le « cultivateur » des eaux. Il ne se borne pas, comme le chasseur sur la terre solide ou comme le pêcheur dans les rivières et sur l'Océan, à se saisir des animaux pour en faire sa nourriture; mais, s'élevant d'un degré dans la civilisation, il apprend à imiter les peuples bergers; au lieu de détruire en sauvage les êtres vivants sans se préoccuper du maintien de l'espèce, il s'occupe au contraire d'en accroître les représentants, il les élève et les soigne pour assurer sa subsistance future. Ainsi, les « ostréiculteurs » recouvrent leurs champs sous-marins de fascines, de pierres, de tuiles, sur lesquelles s'attache le « renouvelain », c'est-à-dire la foule innombrable des petits organismes qui doivent se transformer en huîtres. Quand les mollusques, après avoir échappé aux mille causes de destruction qui les entourent, ont grandi dans les parcs, le pêcheur les recueille pour les mettre à l'engrais dans des réservoirs où ils prennent tout leur développement. Les pêcheurs de l'île de Ré, qui ont commencé la culture des huîtres, il y a une dizaine d'années à peine, ont déjà des parcs qui s'étendent sur une surface de 6,300 hectares et d'où ils peuvent extraire plus de 300 millions d'huîtres par an. On cultive aussi ce mollusque sur des bancs artificiels à Arcachon, à Marennes, dans la baie de Saint-Brieuc, sur les rivages du Cotentin. En Angleterre, la culture de l'huître prend aussi une importance de plus en plus grande et remplace peu à peu les anciennes méthodes barbares de la pêche. Mais c'est aux États-Unis surtout que l'ostréiculture a pris d'énormes développements. Sur les 50 milliards d'huîtres qui sont dévorées chaque année en Amérique et dans l'Europe occidentale, près de 45 milliards forment la part de la consommation aux États-Unis. La quantité de moules que les pêcheurs élèvent sur les côtes et livrent au commerce est aussi des plus considérables. Dans

la seule rade d'Aiguillon, où la culture de ce mollusque se

RADE D'AIGUILLON.



Dressé par A. Vuillemin, d'après la carte de la Marine.

Gravé par Erhard

1/90.000 Mètres

Fig. 207.

pratique depuis le XIIIe siècle, on compte plus de 500 bouchots ou rangées de palissades, sur lesquelles les moules se déve-

loppent en immenses grappes ; c'est par millions que les « boucholeurs » les recueillent chaque année sur une seule palissade.

Quant à la culture des plantes marines, l'homme ne l'a point encore entreprise. Il se borne à ramasser sur les plages les varechs, mêlés aux débris des coquilles rejetées par les vagues, et les utilise pour amender ses champs. Encore cet emploi des algues est-il tout local et ne donne-t-il lieu qu'à une exploitation relativement faible. Il ne tient qu'aux agriculteurs de trouver pour toutes les terres labourables du monde une quantité inépuisable d'engrais : il leur suffit pour cela d'envoyer des flottes prendre des chargements de fucus dans les interminables prairies de sargasses de l'Atlantique et du Pacifique[1].

VIII.

Innocuité relative des ouragans. — Prévision du temps. — Modifications que le travail de l'homme apporte aux climats.

Un fait qui contribue singulièrement à hâter cette prise de possession des mers, c'est que les vents et les terribles ouragans eux-mêmes ont perdu de leur pouvoir sur l'homme. Grâce à la prévision que la science donne aux marins, ces météores deviennent de moins en moins effrayants, et leur action bienfaisante pour le mélange des masses aériennes n'est plus accompagnée comme autrefois d'un si grand nombre de désastres locaux. Instruit par l'aspect du ciel et de la mer aussi bien que par les oscillations du baromètre, le capitaine voit au delà de l'horizon la tempête qui s'approche et, sans crainte, il prend ses mesures pour s'éloigner à temps des redoutables spirales qui vont se dérouler sur la mer. Pour le

1. Voir, ci-dessus, p. 506.

navire à vapeur bien commandé, « il n'est plus d'ouragan possible » ; le cyclone n'est qu'une trombe ordinaire, autour de laquelle le bâtiment peut tourner à son aise, s'en éloignant s'il y a danger d'être entraîné dans le tourbillon, s'en approchant au contraire si les vents de la tempête peuvent être utiles à sa course. L'ouragan, terreur des navigateurs d'autrefois, peut devenir ainsi de nos jours un puissant auxiliaire[1]. Dans le voisinage des côtes, il est vrai, le danger est toujours très-grand, puisque le navire n'a pas l'espace libre devant lui : aussi, quand la tempête s'annonce, les marins doivent-ils s'élancer au plus tôt vers la pleine mer.

Les rivages, que longeaient servilement les anciens navigateurs, dans la crainte d'affronter le terrible Neptune, sont évités aujourd'hui par les marins, car c'est le long des côtes, et principalement sur les plages basses, qu'ont lieu presque tous les naufrages. Les cartes figuratives que les sociétés de sauvetage dressent pour représenter la proportion des sinistres survenus en divers parages des côtes de la Grande-Bretagne et de la France témoignent de ces redoutables

NAUFRAGES DE LA MÉDITERRANÉE.

Dressé par E. C. allemin d'après Regy

Fig 208.

dangers : sur cent navires, deux en moyenne ont à subir un désastre dans l'année. Bien peu nombreuses sont les mers assez tranquilles et assez profondes pour que les embarcations

1. Bridet, *Étude sur les Ouragans de l'hémisphère austral.*

puissent toujours voguer sans crainte à proximité du rivage : le littoral de la Méditerranée n'est pas moins parsemé de débris que celui de l'Océan, et certains de ces parages, notamment la partie de la courbe qui se développe entre Cette et Marseille, sont tout particulièrement redoutés. Pour diminuer le nombre des naufrages, on s'occupe, avec juste raison, d'améliorer les ports, d'ouvrir des havres de refuge, d'éclairer les côtes par des phares visibles à une grande distance en mer, de signaler les écueils par des bouées et des balises, de converser avec les marins par la télégraphie des sémaphores; mais c'est avant tout par la connaissance précise des mouvements de l'atmosphère et par la prévision de plus en plus claire des phénomènes du temps que les désastres pourront être évités. La navigation, surtout la navigation à vapeur, qui dispose de l'immense privilége de la vitesse, n'aura plus à braver que bien peu de dangers lorsque l'équipage saura louvoyer entre les tempêtes et que chaque bâtiment sera devenu un observatoire flottant, ainsi que le demandait l'illustre Américain Maury.

A toute époque de l'histoire, les hommes se sont occupés de la prévision du temps. Grâce aux avantages si nombreux que nous donne la civilisation, l'utilité pratique de connaître d'avance les changements météorologiques prochains est devenue moins pressante, car de nos jours nous pouvons nous soustraire partiellement à l'influence de ces variations par nos vêtements, nos demeures, notre nourriture; ainsi que le dit un proverbe américain, le charbon est devenu un « climat portatif ». Certaines personnes, par une vie tout à fait artificielle, en arrivent à ignorer la plupart des météores de l'atmosphère. Il n'en était pas ainsi pour les peuples antiques. Vivant en plein air ou dans des huttes mal closes, demandant leur existence à la chasse, à la pêche, à l'agriculture ou à l'élève des bestiaux, ils devaient sans cesse interroger l'horizon pour y découvrir les signes précurseurs des vents, des orages et des pluies. Par un examen constant du ciel, les observateurs les plus habiles en étaient arrivés à découvrir d'une manière plus ou moins approximative un grand nombre de

faits qui leur permettaient de pressentir le temps; surtout dans les contrées où les phénomènes de l'atmosphère s'accomplissent avec une assez grande régularité, comme en Égypte et dans les Indes, ceux que l'on appelait les « sages » à cause de leur connaissance des temps et des saisons, apprenaient à pronostiquer avec bonheur des changements prochains de température que rien n'indiquait encore à la foule. Transformées en proverbes qui se répétaient de bouche en bouche, ces prédictions sont en grande partie parvenues jusqu'à nous, et l'on peut juger maintenant du degré de vérité qu'elles offraient dans les différents lieux où elles ont été formulées. Bien des faits mal connus sont constatés depuis des milliers d'années par ces dictons populaires, et ce serait rendre un grand service à la science que de faire un recueil complet de ces paroles éparses de l'enfance des peuples.

Toutefois, dans leur désir de connaître d'avance les changements de température, les hommes n'ont point fait uniquement appel à l'expérience, ils ont cherché à discerner l'avenir dans les mouvements des astres, aussi bien pour les saisons que pour leur propre destinée : c'est par les apparitions et les conjonctions des planètes lointaines et non par les phénomènes mêmes de l'atmosphère qu'ils prétendaient arriver à la prescience des variations du temps. Ces chimères de l'astrologie, qui d'ailleurs offraient à d'ambitieux thaumaturges les moyens de dominer les esprits par le prestige du surnaturel, n'ont point encore entièrement disparu de la science et se reproduisent de temps à autre sous un vêtement d'emprunt plus ou moins scientifique. Sans qu'il soit nécessaire d'affirmer ou de nier l'influence des astres sur les phénomènes de l'atmosphère terrestre, il est certain que, pour atteindre enfin ce grand but de la prévision du temps, il faut procéder avec méthode par des observations de plus en plus rigoureuses et complètes, faites sur tous les points de la terre. C'est en classant les faits particuliers, et en les discutant pour donner à chacun une juste valeur, que l'on découvre successivement les lois générales et que l'on recule de jour en jour le rideau déployé au delà du champ de notre vue.

Bien que les ressources de la civilisation nous aient rendus plus indépendants que nos ancêtres des variations atmosphériques, cependant les intérêts constamment menacés par des modifications imprévues de la température sont immenses, surtout pour les agriculteurs et les marins; en outre, les chercheurs ont, pour les animer dans leurs études, l'attrait puissant qu'offre la contemplation des lois de la nature. Il est beau de retrouver l'ordre et le rhythme dans ce qui semblait un pur caprice des éléments et de tracer d'avance dans les airs le chemin de ces forces invisibles dont le conflit incessant produit toutes les variations du temps. Telle est l'ambition que l'on peut avoir désormais. Récemment encore, Arago doutait que l'homme pût en arriver ainsi à voir d'avance les alternatives de la température et des météores; mais de nos jours presque tous les savants, enhardis par les grandes découvertes des dernières années, sont au contraire pleins de confiance et se voient déjà, dans un avenir prochain, maîtres des secrets du temps. Dès l'année 1808, Lamarck proposait la fondation d'un établissement central de correspondance météorologique, afin d'arriver à la connaissance et à la prévision des météores; mais, dénoncé au maître despotique de la France et trouvé coupable d'être « sorti de sa spécialité », il dut renoncer à son plan d'observations comparées. Depuis, l'amiral Fitz-Roy, en Angleterre, MM. Buys-Ballot et Andrau, en Hollande, M. Marié-Davy et d'autres météorologistes en France, ont pu, grâce à l'étude attentive des indices de l'atmosphère et des phénomènes météorologiques, se hasarder à prédire le temps deux jours à l'avance, et souvent leurs prévisions, affichées dans les ports du littoral, se sont trouvées justifiées. M. Gibert, de Bordeaux, va plus loin : il annonce les changements de température, des semaines et des mois avant qu'ils se produisent. D'ailleurs la comparaison de l'événement, calme, rafale ou tempête, avec la prédiction ne peut laisser aucun doute dans les esprits : car c'est bien en suivant les chemins des météores dans l'espace, que l'observateur arrive à signaler d'avance les points et les heures où se rencontreront les courants d'air, où se formeront les nuages, où se

précipitera l'humidité, où se développera le tourbillon. Lorsque, dans leurs comparaisons journalières, les météorologistes pourront se servir librement, non-seulement de tout le réseau des télégraphes européens, mais aussi de tous les fils de la terre, lorsqu'ils connaîtront les divers phénomènes journaliers des stations américaines, et que leurs observatoires, sortes de sentinelles avancées, seront établis aux Bermudes, aux Açores, à Saint-Thomas, à la Havane, c'est-à-dire à l'origine des courants, des vents et des cyclones qui se développent obliquement à travers l'Atlantique, alors la prévision du temps pourra se faire à coup sûr. Le savant lira d'avance dans les cieux, le marin saura quand il doit rester au port, et l'agriculteur connaîtra le jour de sa récolte. Peut-être même qu'un jour on saura prédire le retour des périodes de climat comme celui des saisons et que mille ans à l'avance, le météorologiste annoncera les orages, de même que l'astronome annonce aujourd'hui les éclipses.

Un triomphe plus grand encore que celui de prévoir la succession des phénomènes météorologiques est celui de modifier les climats. De tout temps, l'homme n'a cessé de les changer par ses travaux de culture et d'aménagement du sol; mais cette œuvre, il l'accomplissait d'une manière inconsciente, et trop souvent c'est à vicier l'atmosphère ou bien à rendre plus brusques et plus désagréables les alternatives de chaleur et de froid qu'il employait son activité. Ainsi les villes dont la température se trouve toujours élevée de 1 à 2 degrés par la cohabitation d'un grand nombre d'hommes, sont en même temps transformées en des foyers de pestilence, où les gaz empoisonnés passent de poumon en poumon. Un immense brouillard de poussière et de miasmes impurs pèse toujours sur les cités; en temps ordinaire, l'aréonaute doit s'élever au moins de 500 mètres au-dessus de Paris avant de respirer un air pur[1]. Jusqu'à nos jours, le problème que se sont proposé les architectes n'est pas de procurer aux habitants des villes autant d'air, de soleil, d'hygiène et de confort qu'il est pos-

1. Flammarion, *Voyages aériens*, p. 203.

sible de leur en fournir; au contraire, on s'est demandé combien d'hommes il serait possible d'entasser les uns sur les autres dans les espaces les plus petits et les plus sombres. Les grandes cités, somptueuses en apparence, doivent être reconstruites presque en entier.

De même dans la campagne, les déboisements à outrance ont eu pour résultat en plusieurs contrées de troubler l'harmonie première de la nature. Par ce fait seul que le pionnier défriche un sol vierge, il change le réseau des lignes isothermes, isothères, isochimènes qui passent au-dessus du pays. Dans plusieurs districts de la Suède dont les forêts ont été récemment coupées, les printemps de la période actuelle commenceraient, d'après Absjiönsen, environ quinze jours plus tard que ceux du siècle dernier. Aux États-Unis, les défrichements considérables des versants alléghaniens semblent avoir rendu la température plus inconstante et avoir fait empiéter l'automne sur l'hiver, l'hiver sur le printemps. On peut dire d'une manière générale que les forêts, comparables à la mer sous ce rapport, atténuent les différences naturelles de température entre les diverses saisons, tandis que le déboisement écarte les extrêmes de froidure et de chaleur, et donne une plus grande violence aux courants atmosphériques. D'après quelques auteurs, le mistral lui-même, ce vent terrible qui descend des Cévennes pour désoler la Provence, serait un fléau de création humaine, et soufflerait seulement depuis que les forêts des montagnes voisines ont disparu. C'est là une erreur, car MM. Marié-Davy et Sonrel ont prouvé que le mistral se rattache aux mouvements généraux de l'atmosphère, mais son action est devenue certainement plus destructive. De même les fièvres paludéennes et d'autres maladies endémiques ont souvent fait irruption dans un district lorsque des bois ou de simples rideaux d'arbres protecteurs sont tombés sous la hache[1]. Quant à l'écoulement des eaux, aux conditions du climat qui en dépendent, on ne saurait douter que le déboisement ait eu pour conséquence d'en troubler la régularité.

1. George P. Marsh, *Man and Nature*.

La pluie, que les branches entre-croisées des arbres laissaient tomber goutte à goutte et qui suintait lentement à travers les feuilles mortes et le chevelu des racines, s'écoule désormais avec rapidité sur le sol pour former des ruisselets temporaires; au lieu de descendre souterrainement vers les bas-fonds et de surgir en fontaines fertilisantes, elle glisse rapidement à la surface et va se perdre dans les rivières et dans les fleuves: la terre se dessèche en amont, le volume des eaux courantes augmente en aval, les crues se changent en inondations et dévastent les campagnes riveraines, d'immenses désastres s'accomplissent, pareils à ceux que causèrent la Loire et le Rhône en 1856. En revanche, le reboisement a produit d'excellents effets pour la régularisation du débit fluvial dans tous les bassins où il a pu être opéré sur une assez grande échelle. En beaucoup de contrées trop arides, paraît-il aussi, les plantations ont eu pour résultat d'accroître utilement la proportion des pluies. Ainsi, en Égypte, les grandes cultures modernes auraient, en empiétant sur le sol nu, augmenté la précipitation de l'humidité. De même à Sainte-Hélène, la chute d'eau annuelle aurait été doublée par le reboisement depuis 1815.

L'homme se rend compte maintenant de l'influence que son travail a exercée sur les climats, soit pour les améliorer, soit pour les aggraver; le mal qu'il a fait, il peut le défaire. Il sait que par le reboisement il a le pouvoir de rapprocher les extrêmes de température et d'égaliser les pluies : il sait qu'il peut accroître la précipitation de l'humidité en développant le système des irrigations, ainsi que le prouvent les observations faites en Lombardie depuis un siècle [1]; enfin il peut assainir le territoire en desséchant les marécages, en confiant à diverses plantes, comme le tournesol, le topinambour, l'eucalyptus, le soin d'en absorber les miasmes [2], en débarrassant le sol des matières corrompues, en modifiant les genres de culture. C'est ainsi qu'en Toscane, la vallée jadis presque inhabitable de la Chiana, où l'hirondelle même n'osait s'aventurer, a été complétement délivrée des miasmes paludéens par la

1. George P. Marsh, *Man and Nature*.
2. F. Maury; Amédée Maurin.

rectification d'une pente indécise, couverte de mares et de lagunes. De même les maremmes de l'ancienne Étrurie sont devenues beaucoup moins dangereuses à la santé des habitants depuis que les ingénieurs toscans ont comblé les marécages du littoral et pris soin d'empêcher le mélange des eaux douces et des eaux salées qui s'opérait à l'embouchure des rivières. C'est en améliorant la qualité de l'air respirable que l'homme résoudra d'une manière définitive cette question si importante de l'acclimatement, car les seuls pays chauds vraiment malsains pour les colons originaires des zones tempérées, ce sont les régions humides dont l'air est saturé de miasmes. Déjà, en dépit des guerres, des interruptions de travail prolongées pendant des siècles et de ses retours partiels vers la barbarie, l'Europe presque tout entière a été rendue salubre par le labeur des populations, et maintenant celles-ci accomplissent le même travail dans l'Amérique du Nord, dans les régions de la Plata, en Algérie, au Cap, en Hindoustan : l'œuvre si considérable qui leur reste à faire pour assainir toute la surface de la planète devient de plus en plus facile, car les hommes connaissent aujourd'hui la puissance de l'association, et les moyens dont ils se servent leur sont fournis par la science.

IX.

Influence de l'homme sur la faune et la flore. — Empiétement des espèces communes. — Extension donnée par l'agriculture aux espèces cultivées.

Les premiers rapports de l'homme avec le monde des animaux qui l'entouraient devaient être nécessairement ceux de la lutte et de la destruction. La grande bataille de la vie s'inaugurait par le massacre. Manger ou être mangé, telle était l'alternative pour l'homme aussi bien que pour le grand ours des cavernes, le lion de l'Attique, le machairodus et tant

d'autres carnassiers des âges précédents. Sans doute la lutte a pu être longtemps indécise, peut-être l'homme en maints endroits a-t-il été vaincu; mais après les diverses péripéties de la lutte, ce sont les terribles bêtes fauves qui ont fini par être tuées et dévorées. L'homme, plus subtil que ces monstres, plus habile à se cacher et à surprendre, ingénieux à se servir d'armes artificielles, bâtons, ossements pointus, haches ou massues de pierre, est resté vainqueur dans la lutte, et des races entières ont disparu devant lui. Sans même parler de ces animaux qui ont été exterminés à une époque inconnue des temps préhistoriques, il est probable que le *schelk* d'Allemagne[1] et le grand cerf d'Islande ont été détruits par les chasseurs, moins de dix siècles avant la période actuelle. De nos jours, le buffle, le lion, le rhinocéros, l'éléphant, reculent incessamment devant l'homme, et tôt ou tard ils disparaîtront à leur tour. Dans les pays fortement peuplés, tous les animaux sauvages sont détruits successivement pour être remplacés par les bêtes qui nous servent d'esclaves ou de compagnons, le bœuf, le chien, le cheval, ou qui sont tout simplement, comme le porc, des masses ambulantes de viande de boucherie.

Parmi les races d'oiseaux dont l'homme doit sans doute se reprocher l'extinction, il faut citer l'*alca impennis* des Feröer, le dronte ou dodo de Maurice, le solitaire (*pezophaps*) de la Réunion, le lori de Rodrigue (*psittacus rodericanus*), l'épiornis de Madagascar, les douze ou quatorze espèces de *moa* de la Nouvelle-Zélande, apteryx et palapteryx[2]. M. de Lungershausen signale aussi comme ayant disparu ou se trouvant sur le point de disparaître sept espèces curieuses d'oiseaux des îles Sandwich, de Taïti, de la Nouvelle-Zélande, de l'île Norfolk, de l'archipel des Samoa, que l'homme ou ses compagnons, le chat et le chien, ont pourchassées à outrance[3]. Les bœufs marins de Steller (*rhytina Stelleri*), ces énormes cétacés du poids de 10,000 kilogrammes, que le géologue du même

1. George P. Marsh, *Man and Nature*, p. 85.
2. Owen; — Ferdinand von Hochstetter, *Neu-Seeland*, p. 447, etc.
3. *Ausland*, n° 30, 1868.

nom et ses compagnons découvrirent en 1741 et qui peuplaient en si grande abondance les rivages du détroit de Behring, ont été complétement détruits dans l'espace de vingt-sept années, et depuis 1768 on n'en a plus aperçu un seul : il n'en reste pas même un squelette entier. Les baleines franches, qui jouissaient récemment d'un faible répit, grâce à la guerre d'Amérique et à l'exploitation des sources de pétrole, sont de nouveaux poursuivies avec fureur, et ne trouveront bientôt plus une mer où se réfugier; les phoques sont chaque année massacrés par centaines de mille; les requins eux-mêmes diminuent en nombre avec les poissons qu'ils chassaient, et qui deviennent la proie des pêcheurs. De même que la tuerie annuelle des oiseaux qui font la guerre aux insectes a eu pour résultat de multiplier d'une manière redoutable les tribus si nombreuses des fourmis, des termites, des sauterelles, des chenilles, de même les cétacés et les poissons qui ont disparu sont remplacés par des myriades de méduses et d'infusoires.

A ce sujet, M. Marsh[1] émet une opinion qui ne peut manquer d'étonner au premier abord, mais qui n'en doit pas moins être prise en très-sérieuse considération. D'après lui, le phénomène si remarquable de la phosphorescence des eaux marines serait de nos jours plus fréquent et plus beau qu'il ne l'était il y a deux mille ans. Homère, qui parle souvent des « mille voix » de la mer Égée, n'en signale point les mille lueurs. De même les poëtes qui firent naître Vénus de l'écume des flots, et peuplèrent « les demeures humides » de tant de nymphes et de divinités, n'ont point décrit les nappes d'or fluide sur lesquelles se laissent bercer pendant les nuits les déesses resplendissantes. L'amour des poëtes grecs pour le grand jour et la lumière du soleil pourrait expliquer en partie ce silence étonnant; mais pourquoi les savants ont-ils été si sobres de paroles en décrivant le phénomène, en apparence si extraordinaire, de l'éclat phosphorescent des eaux? Aristote, qui en parle brièvement, attribue cette lumière à la « qualité

1. *Man and Nature*, p. 114.

grasse et huileuse de la mer ». Élien le compilateur parle de la lueur émise par des algues des plages, et Pline l'encyclopédiste nous apprend que le corps d'une espèce de méduse jette un certain éclat lorsqu'on le frotte contre un morceau de bois. C'est là qu'en était la science avant les observations d'Amerigo Vespucci sur la phosphorescence des mers tropicales. Depuis cette époque, il n'est probablement pas un seul voyageur qui n'ait remarqué les gerbes de lumière jaillissant la nuit autour de son navire, non-seulement dans la mer des Antilles, mais également dans la Méditerranée, sur les côtes atlantiques de l'Europe et près des banquises des océans polaires. Si l'hypothèse ingénieuse de M. Marsh est une vérité, ceux d'entre nous qui se promènent sur les plages ou qui voguent sur les mers pendant certaines nuits où la vague est en feu jouissent d'un spectacle plus beau que ne l'avaient jamais vu nos pères. Ce serait là une faible compensation des ravages accomplis par les pêcheurs.

C'est encore par une rupture de l'harmonie première que l'action de l'homme s'est fait sentir dans la flore de notre planète. Les colosses de nos forêts deviennent de plus en plus rares, et quand ils tombent, ils ne sont point remplacés. Aux États-Unis et au Canada, les grands arbres qui firent l'étonnement des premiers colons ont été abattus pour la plupart, et récemment encore, avant que les plus belles forêts des comtés de Mariposa et de Calatrava devinssent propriété nationale, les pionniers californiens ont renversé, pour les débiter en planches, de gigantesques séquioas qui se dressaient à 120, 130 et 140 mètres de hauteur. C'est là une perte irréparable peut-être, car la nature a besoin de centaines et de milliers d'années pour fournir la séve nécessaire à ces plantes énormes, et l'humanité, trop impatiente de jouir, trop indifférente au sort des générations futures, n'a pas encore assez le sentiment de sa durée pour qu'elle songe à conserver précieusement la beauté des forêts. L'extension du domaine agricole, les besoins de la navigation et de l'industrie ont pour conséquence de réduire aussi le nombre des arbres de moyenne grandeur. Actuellement, c'est par millions qu'ils diminuent chaque année : les

fabriques de joujoux, même celles des allumettes chimiques, sans parler des chantiers de construction, demandent des forêts entières pour leur consommation annuelle. En revanche, les plantes herbacées se multiplient et couvrent des espaces de plus en plus vastes dans tous les pays du monde. On dirait que l'homme, jaloux de la nature, cherche à rapetisser les produits du sol et ne leur permet pas de dépasser son niveau. Déjà, par un effet naturel de la lutte entre les espèces végétales, celles qui sont communes à divers pays tendent à étouffer graduellement les espèces plus faibles cantonnées dans un district étroit. En outre, l'homme contribue à cette destruction des flores originales en accroissant l'aire des plantes envahissantes. Par ses migrations, il fait conquérir de nouvelles terres aux semences des pays civilisés; par ses cultures, il assiége les montagnes, les marais, les savanes où se réfugient les espèces locales; par ses chemins, ses routes, ses canaux, il propage au loin, sur un sol qui ne leur eût pas convenu, les plantes qui entourent ses demeures et qui naissent dans ses champs. Et ce n'est pas seulement dans une partie plus ou moins étendue d'une même zone que s'accroissent les aires des espèces parasites de l'homme, elles s'annexent, aux extrémités du monde, les territoires récemment colonisés, où l'arrivée du blanc est le signal d'un changement de période géologique. De même que les plantes d'Europe empiètent sur les espèces indigènes, de même les animaux importés qui se plaisent au nouveau climat chassent victorieusement devant eux les représentants de l'ancienne faune locale. Le porc, redevenu sauvage, a pris possession des forêts de la Nouvelle-Zélande, et c'est lui, marchant devant les Anglais, qui est devenu le « pionnier de la civilisation ». Le rat qui peuplait autrefois les deux îles a été détruit par le rat normand échappé des navires anglais, et ce conquérant lui-même disparaît à son tour devant la souris d'Europe. La mouche néo-zélandaise évite avec soin sa rivale européenne, qui vient de faire le tour du monde pour la remplacer dans les cabanes des insulaires. Ainsi que les Maoris le disent tristement : « Le rat de l'homme blanc chasse notre rat, sa mouche chasse notre mouche, son trèfle tue nos fou-

gères, et l'homme blanc tuera le Maori[1]. » On comprend le cri de désespoir poussé par Michelet dans son livre de *la Montagne* : « La vulgarité prévaudra ! »

Eh bien, non ! ce qui prévaudra, c'est l'idéal de l'homme. Tant que cet idéal ne sera autre chose que la mise en culture du sol, tout lui sera sacrifié : variété, originalité des espèces, beauté de la végétation; mais quand au désir de faire produire des récoltes à la terre se joindra celui de l'embellir et de lui donner toute la splendeur que l'art ajoute à la nature; quand l'agriculteur, enfin délivré de cette peur de la misère qui le persécute aujourd'hui, et possesseur du loisir, sans lequel il n'est qu'un esclave de la faim, pourra, comme l'amateur jardinier, s'occuper de varier les espèces, de les grouper avec goût, d'en développer les formes élégantes ou grandioses, nul doute qu'il ne réussisse en effet à modifier le monde vegétal suivant ses désirs et à lui donner, au lieu de l'ancienne originalité, une beauté nouvelle qui réponde à son sentiment de l'esthétique.

Au point de vue de la distribution des espèces, le principal résultat de l'agriculture a été de donner une énorme extension à certaines espèces qui servent soit à la nourriture de l'homme, soit aux besoins de son industrie. Le riz, le froment, le maïs, la vigne, le cotonnier, le cafier, couvrent chacun des millions d'hectares, et de nouvelles espèces, comme le cranberry (*oxycocus macrocarpus*) des États-Unis, passent graduellement de l'état sauvage à l'état domestique, ajoutant ainsi de nouvelles richesses au domaine de l'homme[2]. Les diverses céréales, bien peu nombreuses en comparaison des 500,000 espèces de plantes, s'étendent sur une partie du sol que l'on peut évaluer à un cinquantième de la surface continentale : en certaines régions, telles que l'Amérique du Nord, on peut voir des champs de blé de plusieurs milliers d'hectares ondulant jusqu'à l'extrême horizon comme des lacs au souffle du vent. Les plantes utilisées par l'homme ont tellement dépassé les limites

1. Julius Haast, von Hochstetter, Oscar Peschel, *Ausland*, 19 février 1867.
2. Marsh, *l'Uomo e la Natura*, p. 44.

de leurs aires naturelles que, sur les 157 espèces le plus généralement cultivées, il en est 72 non encore retrouvées à l'état sauvage ou sur l'identité desquelles les botanistes éprouvent quelque doute[1]. Récemment encore, le froment était connu seulement comme plante agricole, et l'on y voyait une sorte de richesse miraculeuse avant que M. Balansa l'eût retrouvé, croissant spontanément sur un mont de l'Asie Mineure.

Les peuples du Nord poussent leurs cultures jusqu'au delà du cercle polaire, bien près de la limite extrême de la zone où croissent les forêts. Sur les côtes de la Norvége, l'orge, qui est la céréale cultivée le plus avant dans la direction du pôle, ne réussit d'une manière certaine qu'au sud du 66e degré; mais on la voit encore çà et là dans les vallons abrités, presque jusqu'à l'extrémité septentrionale de la péninsule scandinave : la dernière localité où les habitants aient encore le courage de la cultiver en dépit du climat est Elvbaken, sous le 70e degré de latitude. Dans la Laponie suédoise, la culture de l'orge s'arrête à 150 kilomètres plus au sud; et cependant les récoltes annuelles ne sont généralement mûres qu'à demi, et les paysans doivent les faire sécher au four; à Enontekis, on n'obtient guère de produits satisfaisants qu'une fois en trois années. Dans les autres contrées boréales qui ne sont pas, comme la Scandinavie, sous l'influence du Gulf-stream, l'orge ne peut être cultivée avec espoir de succès qu'à une grande distance au sud du cercle polaire; mais sur tous les points de la zone glaciale où se sont établis des groupes d'habitants civilisés, en Sibérie, au Labrador, au Groenland, ces enfants perdus de la race humaine savent faire germer du sol à force de labeur quelques légumes des régions tempérées, pommes de terre, choux, navets, laitues, épinards, pauvres plantes qui se refuseraient certainement à vivre sur le sol glacé sans les soins tenaces du jardinier qui les élève. Sur les pentes des montagnes de la Suisse, l'homme a également poussé les cultures bien au delà de leurs limites naturelles. Dans plusieurs vallées des Alpes, des champs de seigle, d'orge, d'avoine atteignent 1,500, 1,600, et même, dans

1. Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée.*

le val Tornanche, jusqu'à 1,984 mètres au-dessus du niveau de la mer, à 700 mètres à peine de la limite des neiges persistantes[1]. Le plus haut village de la Maurienne, en Savoie, se trouve à 1,798 mètres de hauteur moyenne, et néanmoins les habitants lui ont donné le nom de Bonneval, par une sorte de gratitude à l'égard des terres qu'arrose le torrent d'Arc. Sur les pentes tournées vers le soleil du midi, les villageois cultivent l'orge et le seigle avec persévérance : il est vrai que les récoltes sont extrêmement tardives. Les semis se font en juillet sur des champs dont on a fondu la neige en y répandant de la terre noirâtre ou de la bourre d'avoine, et souvent à la fin du mois d'août ou au commencement de septembre de l'année suivante, les champs sont encore verts : il faut quatorze mois pour mûrir la moisson. Grâce à une conquête vraiment héroïque de l'industrie humaine, les cultures montent en moyenne à 100 mètres plus haut sur le versant septentrional des Alpes du Valais que sur le versant méridional, exposé pourtant à la bienfaisante influence du soleil : c'est que les populations du Nord, possédant moins de bonnes terres, sont aussi plus assidues au travail que les populations du Midi.

M. Rosenthal, de Breslau, ne compte pas moins de 12,000 végétaux employés soit pour leurs substances nutritives, soit pour leurs vertus curatives ou leur utilité en industrie; mais les principales espèces cultivées, celles sans lesquelles l'homme disparaîtrait de la terre, car elles nous donnent la nourriture, le vêtement et toutes les aises de la vie, ne constituent qu'une très-faible partie de la flore terrestre. L'Europe et l'Asie occidentale ont peut-être fourni à la race humaine leurs espèces les plus précieuses : depuis le temps des Chaldéens et des Pélasges, ces parties de l'ancien monde ont déjà donné à l'agriculture plus de la moitié des trésors qu'elle possède. Les Indes et l'archipel de la Sonde, si riches par leur végétation, sont la patrie d'un quart environ des plantes agricoles et industrielles, et le reste nous vient presque en entier de l'Amérique méridionale, qui pour la multitude des plantes

1. Charles Martins. *Météorologie* de Kämtz.

est certainement, à égalité de surface, le continent le plus riche. Une seule espèce de grande importance dans la culture, le dattier, a son origine dans l'Afrique du Nord ; quant à l'Australie, à la Nouvelle-Zélande, et aux États-Unis, ces pays n'ont pas encore fourni à l'humanité une seule plante d'utilité considérable pour l'alimentation ni pour des industries autres que la construction des maisons ou des navires.

Évidemment, les hommes, très-routiniers dans leurs cultures, n'ont encore mis à profit qu'un bien petit nombre des plantes qui pourraient leur être utiles, et parmi celles qu'ils cultivent avec le plus d'amour plusieurs sont des espèces vénéneuses, comme l'opium, le bétel et cet odieux tabac, dont la vertu est d'affaiblir le corps et d'endormir la volonté. Sans parler des arbres de tant d'essences diverses qui n'ont pas encore été exploités pour les constructions, que de plantes américaines, négligées ou même inconnues des botanistes, qui serviraient soit à la nourriture des hommes, soit à la guérison des maladies, par leur tige, leur écorce, leurs fruits, leurs fleurs, leur gomme ou leurs racines! Récemment encore les agriculteurs ont su faire une conquête des plus importantes dans les forêts vierges de la Bolivïe et du Pérou : ils se sont emparés de l'arbre à quinquina pour le transformer désormais en plante cultivée. Les indigènes, trop pressés de jouir, ne connaissaient que la méthode barbare d'abattre le tronc pour le dépouiller de son écorce : ils parcouraient la forêt à la recherche des *chinchonas* (et non *cinchonas*), puis quand ils les avaient trouvés, ils y mettaient la hache, et, dans l'espace de quelques heures, ces arbres, qui pendant un siècle auraient pu fournir de nombreuses récoltes d'écorce, gisaient dépouillés sur le sol. Cette espèce végétale, si précieuse pour la race humaine, était menacée dans son existence même. Heureusement que le voyageur Clements Markham a réussi à dérober quelques plants, et maintenant les chinchonas s'élèvent en forêts cultivées à Maurice, à la Réunion, à Ceylan, dans l'île de Java, à la Jamaïque, à Sainte-Hélène, sur les pentes de l'Himalaya et des Nillagheries.

X

Influence de l'homme sur la beauté de la terre. — Enlaidissements et embellissements du sol. — Action diverse des différents peuples. — Sentiment de la nature. — Progrès de l'humanité.

L'action de l'homme, si puissante pour dessécher les marécages et les lacs, pour niveler les obstacles entre les divers pays, pour modifier la répartition première des espèces végétales et animales, est par cela même d'une importance décisive dans les transformations que subit l'aspect extérieur de la planète. Elle peut embellir la terre, mais elle peut aussi l'enlaidir; suivant l'état social et les mœurs de chaque peuple, elle contribue tantôt à dégrader la nature, tantôt à la transfigurer. L'homme pétrit à son image la contrée qu'il habite : après de longs siècles d'exploitation brutale, le barbare donne à la terre un aspect de cruauté féroce, tandis que par la culture intelligente, le civilisé peut la faire rayonner de grâce et d'un charme pénétrant; il peut l'humaniser, pour ainsi dire, de sorte que l'étranger qui passe se sent doucement accueilli par elle et se repose avec confiance sur son sein.

Campé comme un voyageur de passage, le barbare pille le sol; il l'exploite avec violence sans lui rendre en culture et en soins intelligents les richesses qu'il lui ravit; il finit même par dévaster complétement la contrée qui lui sert de demeure et par la rendre inhabitable. La surface de la terre offre de nombreux exemples de ces dévastations sans merci. En maints endroits, l'homme a transformé sa patrie en un désert, et « l'herbe ne croît plus où il a posé ses pas ». Une grande partie de la Perse, la Mésopotamie, l'Idumée, diverses contrées de l'Asie Mineure et de l'Arabie, qui « découlaient de lait et de miel » et qui nourrissaient jadis une population très-considérable, sont devenues presque entièrement stériles, et sont habitées par de misérables tribus vivant de pillage et d'une

agriculture rudimentaire. Peut-être le climat s'est il réellement modifié par suite de grandes causes géologiques, ainsi que le pense M. Oscar Fraas[1], mais l'homme a certainement sa forte part dans cette transformation des campagnes en désert. De nos jours ne voit-on pas que le Turc, propriétaire du sol et jouissant de loisir, aime les arbres et les fleurs, et sait distribuer avec grâce les massifs de ses jardins, tandis que les Grecs et les autres chrétiens d'Orient, longtemps asservis, ne se sont pas encore élevés jusqu'à l'amour de la nature, et l'épuisent sans merci[2]. « Qui tue un arbre, tue un Serbe, » disent les fiers Slaves des bords du Danube.

Lorsque la puissance de Rome céda sous la pression des Barbares, l'Italie et les provinces voisines, ruinées par le travail inintelligent des esclaves, étaient partiellement changées en solitudes, et de nos jours encore, après deux mille ans de jachère, de vastes espaces que les Étrusques et les Sicules avaient mis en culture sont des landes inutiles ou d'insalubres maremmes. Par des causes semblables à celles qui ont eu pour résultat l'affaiblissement et la mort de l'empire romain, le nouveau monde lui-même a perdu de notables parties de son territoire agricole : telles plantations des Carolines et de l'Alabama qui furent conquises sur la forêt vierge, il y a moins d'un demi-siècle, ont cessé totalement de produire et sont aujourd'hui le domaine des bêtes fauves. Au Brésil et en Colombie, dans les contrées les plus spontanément fécondes du monde entier, il suffit de quelques années pour épuiser le sol par une culture qui est un vrai pillage. On brûle les arbres pour semer le maïs dans les cendres, puis on renouvelle incessamment les semis de la même plante jusqu'à ce qu'un fourré d'arbustes l'étouffe. On brûle une seconde fois, et l'on sème encore du maïs. Alors les fougères et une graminée visqueuse, fétide, appelée *capim gordura,* font leur apparition sur le sol. La terre est perdue.

La question de savoir ce qui, dans l'œuvre de l'homme,

1. Voir, ci-dessus, page 477.
2. Georges Perrot, *Tour du monde,* n° 439, 1870.

sert à embellir ou bien contribue à dégrader la nature extérieure, peut sembler futile à des esprits soi-disant positifs : elle n'en a pas moins une importance de premier ordre. Les développements de l'humanité se lient de la manière la plus intime à la nature environnante. Une harmonie secrète s'établit entre la terre et les peuples qu'elle nourrit, et quand les sociétés imprudentes se permettent de porter la main sur ce qui fait la beauté de leur domaine, elles finissent toujours par s'en repentir. Là où le sol s'est enlaidi, là où toute poésie a disparu du paysage, les imaginations s'éteignent, les esprits s'appauvrissent, la routine et la servilité s'emparent des âmes et les disposent à la torpeur et à la mort.

Parmi les causes qui, dans l'histoire de l'humanité, ont déjà fait disparaître tant de civilisations successives, il faudrait compter en première ligne la brutale violence avec laquelle la plupart des peuples traitaient la terre nourricière. Ils abattaient les forêts, faisaient tarir les sources et déborder les fleuves, gâtaient les climats, entouraient les cités de zones marécageuses et pestilentielles; puis, quand la nature, profanée par eux, leur était devenue hostile, ils la prenaient en haine, et, ne pouvant se retremper comme le sauvage dans la vie des forêts, ils se laissaient de plus en plus abrutir par le despotisme des prêtres et des rois. « Les grands domaines ont perdu l'Italie, » a dit Pline; mais il faut ajouter que ces domaines, cultivés par des mains esclaves, avaient enlaidi le sol comme une lèpre. Les historiens, frappés de l'étonnante décadence de l'Espagne depuis Charles-Quint, ont cherché à l'expliquer de diverses manières. D'après les uns, la cause principale de cette ruine de la nation fut la découverte de l'or d'Amérique; suivant d'autres, ce fut la terreur religieuse organisée par la « Sainte Fraternité » de l'inquisition, l'expulsion des Juifs et des Maures, les sanglants *auto-da-fé* des hérétiques. On a également accusé de la chute de l'Espagne l'inique impôt de l'*alcabala* et la centralisation despotique à la française; mais l'espèce de fureur avec laquelle les Espagnols ont abattu les arbres, de peur des oiseaux, « *por miedo de los pajaritos,* » n'est-elle donc pour rien dans cette terrible décadence? La terre, jaune, pier-

reuse et nue, a pris un aspect repoussant et formidable, le sol s'est appauvri, la population, diminuant pendant deux siècles, est retombée partiellement dans la barbarie. Les petits oiseaux se sont vengés.

De nos jours encore, et même chez les nations les plus avancées, nombre de travaux humains ont malheureusement pour résultat fatal d'appauvrir le sol et d'enlaidir la nature. Considérée dans son ensemble, l'humanité n'est point émergée de sa barbarie primitive. Suivant les genres de culture, la variété des climats, la diversité des mœurs et des caractères nationaux, l'œuvre de détérioration s'accomplit d'une manière différente chez les différents peuples. Les Arabes, les Espagnols et les Hispano-Américains eux-mêmes coupent les arbres et laissent la campagne se dessécher et jaunir au soleil; les Italiens, les Allemands, mutilent indignement les arbres qu'ils respectent et leur donnent l'aspect de pieux ou de balais; les Français divisent leurs terrains en d'innombrables parcelles, produisant toutes des récoltes différentes, qui, sur les coteaux, ressemblent de loin à des draperies multicolores étendues sur le sol. Aux États-Unis, les terrains sont découpés en carrés géométriques, tous également orientés et uniformes, en dépit des ondulations et des saillies du relief. Enfin les propriétaires de maints pays, petits manants ou grands seigneurs, entourent leurs domaines de murs de défense et les enceignent de fossés comme des forteresses menacées : jusqu'au misérable Irlandais, le plus pauvre des hommes, qui enclôt d'un haut rempart de terre son jardinet, tout rempli de mauvaises herbes. Combien de pays n'est-il pas en Europe que l'on peut parcourir pendant des heures entières sans trouver un site où le regard de l'artiste se repose avec satisfaction ?

Non-seulement le « dur laboureur », jaloux de sa borne patrimoniale et désireux avant tout d'obtenir des produits abondants, travaille souvent à l'enlaidissement de la terre; mais ceux qui font profession d'admirer le plus la nature dégradent systématiquement encore les plus beaux sites. Dans les environs des villes, les prétendues campagnes, découpées en enclos, ne sont plus représentées que par les arbustes taillés

et les massifs de fleurs qu'on entrevoit à travers les grilles. Nombre de principicules allemands, dépravés par un sentimentalisme niais, ont gâté les plus charmants paysages en gravant de pédantesques inscriptions sur les rochers, en décorant les pelouses de tombeaux de fantaisie, en faisant monter la garde à leurs soldats devant les points de vue qu'ils veulent signaler aux visiteurs. Des multitudes de bourgeois français en sont arrivés, dans leur mesquin amour du baroque et du symétrique, jusqu'à réprimer la séve dans les troncs, afin de créer des variétés naines et de donner au feuillage des formes de géométrie ou la bizarre apparence de monstres et de démons. Les graves négociants hollandais du siècle dernier ne voulaient pour leurs allées que des tilleuls aux troncs badigeonnés en blanc, aux têtes taillées en boule, et les arbres de Brouck sont encore peints à l'huile et au blanc de zinc. Les jardiniers de l'empereur Yang-Ty remplaçaient les fleurs et les feuilles qui tombaient des arbres par un feuillage artificiel et des fleurs de soie, que l'on imprégnait de parfums pour rendre l'illusion plus complète [1].

Et la grande nature, comment est-elle comprise? Sur le bord de la mer, les falaises les plus pittoresques, les plages les plus charmantes sont, en maints endroits, accaparées soit par des propriétaires jaloux, soit par des spéculateurs qui apprécient les beautés de la nature à la manière des changeurs évaluant un lingot d'or. Dans les régions de montagnes fréquemment visitées, la même rage d'appropriation s'empare des habitants: les paysages sont découpés en carrés et vendus au plus fort enchérisseur: chaque curiosité naturelle, le rocher, la grotte, la cascade, la fente d'un glacier, tout, jusqu'au bruit de l'écho, peut devenir propriété particulière. Des entrepreneurs afferment les cataractes, les entourent de barrières en planches pour empêcher les voyageurs non payants de contempler le tumulte des eaux, puis, à force de « réclames », transforment en beaux écus sonnants la lumière qui se joue dans les gouttelettes brisées et le souffle du vent qui déploie

1. Meyer, *Die schöne Gartenkunst.*

dans l'espace des écharpes de vapeurs. Ce n'est pas sans une profonde amertume que le voyageur peut comparer aujourd'hui le Niagara, tel que l'ont fait les hommes, à l'ancien « tonnerre des eaux », tel que nous l'avait donné la nature. De laides constructions, usines, hôtels, entrepôts, se sont enracinées aux falaises; les « annonciers », spéculant sur la beauté du Niagara pour le placement de leurs marchandises ou de leurs drogues, ont placardé leurs affiches immondes ou menteuses en face de la cataracte grondante; d'autres industriels, plus désagréables encore, prétendent ajouter quelques traits poétiques au paysage en érigeant des kiosques chinois et des tourelles gothiques. Les arbres, dont la verdure encadrait si bien la blancheur des eaux, ont disparu sous la hache, et la masse liquide elle-même diminue de jour en jour à cause des saignées que les propriétaires d'usines font au Niagara pour faire tourner les roues de leurs machines. Que le travail de l'homme utilise la force immense de la cataracte, rien de mieux; mais dans cette œuvre d'aménagement la beauté du lieu n'a point été respectée.

Cette corruption du goût, qui porte à gâter les plus beaux paysages, et dont l'origine se trouve dans l'ignorance et la vanité, est désormais condamnée; l'intelligence humaine doit chercher maintenant la beauté, non dans de vaines imitations purement extérieures ou dans une bizarre et fausse décoration, mais dans l'harmonie intime et profonde de son œuvre avec celle de la nature. L'homme qui aime vraiment la terre sait qu'il s'agit d'en conserver, d'en accroître même la beauté, de la lui rendre, quand une exploitation brutale l'a déjà fait disparaître. Comprenant que son intérêt propre se confond avec l'intérêt de tous, il répare les dégâts commis par ses prédécesseurs, il aide la terre au lieu de s'acharner brutalement contre elle et travaille à l'embellissement aussi bien qu'à l'amélioration de son domaine. Non-seulement il sait, en qualité d'agriculteur et d'industriel, utiliser de plus en plus les produits et les forces du globe; il apprend aussi, comme artiste, à donner aux paysages qui l'entourent plus de charme, de grâce ou de majesté. Devenu « la conscience de la terre », l'homme assume

par cela même une responsabilité dans l'harmonie et la beauté de la nature environnante.

Sous la rude main des conquérants de Rome, et pendant les temps douloureux du moyen âge, la masse esclave qui labourait le sol ne pouvait guère comprendre la beauté de la terre sur laquelle s'écoulait sa misérable vie, et le sentiment qu'elle éprouvait à l'égard des paysages qui l'entouraient devait nécessairement se pervertir. Les amertumes de l'existence étaient alors beaucoup trop vives pour que l'on pût se donner souvent le plaisir d'admirer les nuages, les rochers et les arbres. Ce n'étaient de toutes parts que discordes, haines, frayeurs subites, guerres ou famines. Le caprice et la cruauté du maître étaient la loi des asservis : dans chaque inconnu, on craignait un meurtrier; les noms d'étranger et d'ennemi étaient deux noms synonymes. Dans une pareille société, la seule chose que l'homme brave pût essayer de faire pour lutter contre sa destinée et garder en soi-même la conscience de son âme, c'était d'être joyeux et ironique, c'était de se moquer du fort et surtout de son maître, mais il n'avait que faire de s'attendrir en regardant la terre. La splendeur des traits de la nature environnante devait rester inconnue à des hommes qui, sous le coup d'une vague terreur soigneusement entretenue par les sorciers de toute espèce, ne cessaient d'apercevoir dans les grottes, dans les chemins creux, dans les gorges des montagnes, dans les bois pleins d'ombre et de silence, des revenants informes et des monstres horribles, tenant à la fois de la bête et du démon. Quelle étrange idée devaient se faire de la terre et de sa beauté ces moines du moyen âge qui, dans leurs cartes du monde, ne manquaient jamais de dessiner à côté des noms de tous les pays lointains, des animaux vomissant le feu, des hommes à sabots de cheval ou à queue de poisson, des griffons à tête de bélier ou de bœuf, des mandragores volantes, des corps décapités aux larges yeux hagards logés dans la poitrine!

Au sortir de ces guerres incessantes du moyen âge, le désir de tout homme échappé à la lutte devait être de se faire un petit nid bien charmant et bien abrité : la grande nature

lui faisait peur, il demandait la paix. L'idéal des générations qui se sont succédé de la Renaissance jusqu'à la Révolution se révèle par les sites que princes et seigneurs choisissaient pour la construction de leurs châteaux de plaisance. Un bien petit nombre de ces palais occupent une position d'où l'on puisse contempler un horizon grandiose de montagnes ou de rochers : même en beaucoup d'endroits, notamment sur les bords du lac de Genève, les maisons de campagne bâties par les riches propriétaires riverains tournent le dos à ce qui nous semblerait maintenant la partie la plus grandiose de la vue. A cette nature trop puissante et trop sauvage pour qu'on se plût à la regarder, l'homme préférait alors un espace borné où l'imagination s'épandait à son aise, un rideau de collines doucement infléchies, une petite rivière serpentant sous l'ombrage des aunes et des trembles, de belles avenues d'arbres touffus, des pelouses et des étangs décorés de statues. On mettait la grâce bien au-dessus de la simplicité grandiose des vastes horizons.

Les peuples placés aujourd'hui par leur civilisation à l'avant-garde de l'humanité se préoccupent en général fort peu de l'embellissement de la nature. Beaucoup plus industriels qu'artistes, ils préfèrent la force à la beauté. Ce que l'homme veut surtout, c'est adapter la terre à ses besoins et en prendre possession complète pour en exploiter les richesses immenses. Il la couvre d'un réseau de routes, de chemins de fer et de fils télégraphiques; il fertilise les déserts et dompte les fleuves; il triture les collines pour les étendre en alluvions sur les plaines, perce les Alpes et les Andes, unit la mer Rouge à la Méditerranée, s'apprête à mêler les eaux du Pacifique à celles de la mer des Antilles. Presque tous les hommes, acteurs et témoins de ces grandes entreprises, se laissent emporter par l'enivrement du travail et ne songent plus qu'à pétrir la terre à leur image. Et pourtant, quand l'homme a, pour son action sur la terre, un idéal plus élevé, il réussit toujours à en aménager parfaitement la surface, tout en laissant au paysage sa beauté naturelle! La nature reste belle quand l'agriculteur intelligent cesse d'élever et de forcer comme au hasard les plantes les plus diverses sur un sol dont il ne connaît pas les propriétés,

quand il comprend surtout que la terre ne doit pas être violentée, et qu'il la consulte d'abord, en interroge les goûts et les préférences, avant de lui confier ses cultures. Ainsi les « Shakers » des États-Unis, pour lesquels le travail des champs est une « cérémonie d'amour », et qui se font un devoir de chérir les arbres qu'ils élèvent, la semence qu'ils jettent dans le sillon, le ruisseau qu'ils dirigent, ont réussi à transformer en de véritables paradis leurs campagnes de Mount-Lebanon, de Hancock, de Water-Vliet[1]. Dans l'État de New-Jersey, les habitants du district de Vineland ont résolu d'un commun accord qu'ils supprimeraient les barrières entre leurs jardins, leurs vergers et leurs bosquets, afin de laisser toute sa beauté à la terre qu'ils cultivent. En Angleterre, ce pays où les agriculteurs savent faire produire à leurs champs des récoltes si abondantes, mais où le peuple a toujours eu pour les arbres plus de respect que n'en ont les nations latines, il est peu de sites qui n'aient une certaine grâce, ou même une véritable beauté, soit à cause des grands chênes isolés étalant leurs branches au-dessus du gazon, soit à cause des massifs d'essences diverses, parsemés avec art autour des villages et des châteaux; leurs prairies, dit-on, semblent avoir reçu leur dernière touche du pinceau de l'artiste plutôt que de la faux du paysan. L'art de l'homme, quoi que puissent en penser certains esprits moroses, a le pouvoir d'embellir jusqu'à la nature libre, en lui donnant le charme de la perspective et de la variété, et surtout en la mettant en harmonie avec les sentiments intimes de ceux qui l'habitent. En Suisse, au bord des grands lacs, en face des montagnes bleues et des glaciers étincelants, combien n'est-il pas de châlets et de villas qui, par leurs pelouses, leurs massifs de fleurs, leurs allées ombreuses, rendent la nature encore plus belle et charment comme un doux rêve de bonheur le voyageur qui passe!

De nos jours, l'émancipation intellectuelle que donne la science, l'amour de la liberté qui se répand, le sentiment de solidarité qui nous pénètre souvent à notre insu, et nous

1. Hepworth Dixon, *New America.*

apprend que la terre est à tous, ont singulièrement agrandi les horizons. En même temps, les voyages révèlent de plus en plus la beauté de la terre et l'harmonie de ses forces. Depuis quelques années surtout, il se manifeste une véritable ferveur dans les sentiments d'amour qui rattachent les hommes d'art et de science à la nature. Les voyageurs se répandent en essaims dans toutes les contrées d'un accès facile, remarquables par la beauté de leurs sites ou le charme de leur climat. Des légions de peintres, de dessinateurs, de photographes, parcourent le monde des bords du Yang-tse-kiang à ceux du fleuve des Amazones ; ils étudient la terre, la mer, les forêts sous leurs aspects les plus variés ; ils nous révèlent toutes les magnificences de la planète que nous habitons, et par la fréquentation de plus en plus intime avec la nature, par les œuvres d'art rapportées de ces innombrables voyages, tous les hommes cultivés peuvent maintenant se rendre compte des traits et de la physionomie des diverses contrées du globe. Moins nombreux que les artistes, mais plus utiles encore dans leur travail d'exploration, les savants se sont aussi faits nomades, et la terre entière leur sert de cabinet d'étude : c'est en voyageant des Andes à l'Altaï que Humboldt a composé ses admirables *Tableaux de la nature*, dédiés, comme il le dit lui-même, à « ceux qui, par amour de la liberté, ont pu s'arracher aux vagues tempêtueuses de la vie ».

Désormais, grâce aux voyages, c'est la planète elle-même qui ennoblira le goût de ses habitants et leur donnera la compréhension de ce qui est vraiment beau. Ceux qui parcourent les Pyrénées, les Alpes, l'Himalaya ou seulement les hautes falaises du bord de l'Océan, ceux qui visitent les forêts vierges ou contemplent les cratères volcaniques apprennent, à la vue de ces tableaux grandioses, à saisir la véritable beauté des paysages moins frappants, et à n'y toucher qu'avec respect lorsqu'ils ont le pouvoir de les modifier. C'est donc avec joie qu'il nous faut saluer maintenant cette passion généreuse qui porte tant d'hommes, et, dirons-nous, les meilleurs, à parcourir les forêts vierges, les plages marines, les gorges des montagnes, à visiter la nature dans toutes les régions du globe où elle a

gardé sa beauté première. On sent que, sous peine d'amoindrissement intellectuel et moral, il faut contre-balancer à tout prix, par la vue des grandes scènes de la terre, la vulgarité de tant de choses laides et médiocres, où les esprits étroits voient le témoignage de la civilisation moderne. Il faut que l'étude directe de la nature et la contemplation de ses phénomènes deviennent pour tout homme complet un des éléments primordiaux de l'éducation; il faut aussi développer dans chaque individu l'adresse et la force musculaire, afin qu'il escalade les cimes avec joie, regarde sans crainte les abîmes, et conserve dans tout son être cet équilibre naturel des forces, sans lequel on n'aperçoit jamais les plus beaux sites qu'à travers un voile de tristesse et de mélancolie. L'homme moderne doit unir en sa personne toutes les vertus de ceux qui l'ont précédé sur la terre : sans rien abdiquer des immenses priviléges que lui a conférés la civilisation, il ne doit rien perdre non plus de sa force antique, et ne se laisser dépasser par aucun sauvage en vigueur, en adresse ou en connaissance des phénomènes de la nature. Dans les beaux temps des républiques grecques, les Hellènes ne se proposaient rien moins que de faire de leurs enfants des héros par la grâce, la force et le courage : c'est également en éveillant dans les jeunes générations toutes les qualités viriles, c'est en les ramenant vers la nature et en les mettant aux prises avec elle que les sociétés modernes peuvent s'assurer contre toute décadence par la régénération de la race elle-même.

Cette forte éducation développera le sentiment de la nature dans toute sa grandeur. Il se pervertit par la routine et par la servitude; c'est par la connaissance et par la liberté qu'il renaît. La science, qui transforme peu à peu la planète en un immense organisme travaillant sans relâche pour le compte de l'humanité, par ses vents, ses courants, sa vapeur d'eau, son fluide électrique, nous indique aussi les moyens d'embellir la surface terrestre, d'en faire le jardin rêvé par les poëtes de tous les âges. Toutefois, si la science nous montre dans l'avenir l'image du globe transfiguré, ce n'est point elle seule qui pourra terminer la grande œuvre. Aux progrès en connaissance doivent

correspondre les progrès moraux. Tant que les hommes seront en lutte pour déplacer les bornes patrimoniales et les frontières fictives de peuple à peuple, tant que le sol nourricier sera rougi du sang de malheureux affolés qui combattent soit pour un lambeau de territoire, soit pour une question d'honneur prétendu, soit par rage pure, comme les barbares des anciens jours, tant que les affamés chercheront, sans pouvoir se les assurer, le pain quotidien et la nourriture de l'esprit, la terre ne sera point ce paradis que le regard du chercheur aperçoit déjà par delà les temps. Les traits de la planète n'auront point leur complète harmonie si les hommes ne sont d'abord unis en un concert de justice et de paix. Pour devenir vraiment belle, la « mère bienfaisante » attend que ses fils se soient embrassés en frères et qu'ils aient enfin conclu la grande fédération des peuples libres.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

L'OCÉAN.

L'ATMOSPHÈRE ET LES MÉTÉORES.

LA VIE.

PREMIÈRE PARTIE.

L'OCÉAN.

Pages.

CHAPITRE I. — LES EAUX MARINES. 1

I. Considérations générales 1

II. Bassins océaniques. — Profondeur des mers. — Égalisation du niveau à la surface de l'Océan. 5

III. Composition de l'eau de mer. — Poids spécifique. — Marais salants, naturels et artificiels. — Substances diverses. — Différences de salinité. — Sel marin. 26

IV. Couleurs diverses des eaux marines. — Reflets, transparence et couleur propre. — Température des couches profondes. 34

V. Formation des glaces. — Glaçons, banquises et montagnes de glace. — Glaces de la Baltique et de la mer Noire. 41

VI. Vagues de la mer. — Ondes régulières et irrégulières. — Hauteur des vagues. — Leur amplitude et leur vitesse. — Lames de fond. — Vagues de côtes. 58

CHAP. II. — LES COURANTS 71

I. Grands mouvements des eaux marines. — Causes générales des courants. — Les cinq fleuves océaniques. 71

Pages.

II. Le *Gulf-stream*. — Influence de ce courant sur les climats. — Son importance pour le commerce 75
III. Courants de l'Atlantique méridional et de la mer des Indes. — Double remous de l'océan Pacifique 91
IV. Remous latéraux. — Courant de Rennell. — Contre-courant de la mer des Antilles. — Équilibre des eaux dans la Baltique, au Bosphore, à l'entrée de la Méditerranée et de la mer Rouge. — Échange d'eau et de sel entre les mers 100

CHAP. III. — LES MARÉES 108
I. Oscillations du niveau des mers. — Théorie des marées 108
II. Théorie de Whewell sur la naissance et la propagation des vagues de marée. — Naissance de la marée dans chaque bassin océanique. — Établissement des ports. — Lignes « cotidales. » 118
III. Irrégularités apparentes des marées. — Amplitude extraordinaire du flot dans certaines baies. — Interférence du flux et du reflux. — Marées diurnes. — Inégalités entre les marées successives 124
IV. Les courants de marée. — Les *ras* et les tourbillons. — Les *mascarets*. — Marées fluviales 137
V. Flux et reflux dans les lacs et les mers intérieures. — Courants de l'Euripe. — Charybde et Scylla 146

CHAP. IV. — LES RIVAGES ET LES ÎLES 154
I. Modifications incessantes de la forme du littoral. — Les *fjords* de la Scandinavie et des autres contrées rapprochées des pôles 154
II. Comblement des fjords par les alluvions marines et fluviales 162
III. Destruction des falaises. — Les côtes de la Manche. — Le Pas-de-Calais. — Action des galets et des sables. — Marmites de géants. — Puits jaillissants des côtes. — Puits à « mareyage. » 170
IV. Affouillement des rochers. — Diversité d'aspect des falaises. — Plates-formes de leurs bases. — Résistance des côtes. — Brise-lames formés par des décombres. — Helgoland. — Destruction des plages basses 181
V. Forme normale des rivages. — Courbes de « plus grande stabilité ». — Formation de nouveaux rivages. — Cordons littoraux et flèches de sable. — Baies intérieures 194
VI. Bas-fonds du littoral. — Dépôt de roches calcaires. — Aspect des grèves et des plages 214
VII. Origine des îles. — Îles d'origine continentale : rochers des rivages ; îles de dépression, de soulèvement, d'érosion. — Îles d'origine océanique : atolls et volcans 224

CHAP. V. — LES DUNES 235
I. Dunes provenant de la décomposition des roches. — Formation des dunes mobiles sur le rivage de la mer. — Disposition symétrique des rangées de sable 235

Pages.

II. Hauteur des monticules. — Marche des dunes. — Déplacement des étangs, disparition des villages. 246
III. Obstacles opposés par la nature à la marche des dunes. — Fixation des sables par les semis. 255

DEUXIÈME PARTIE.

L'ATMOSPHÈRE, LES MÉTÉORES.

CHAPITRE I. — L'AIR ET LES VENTS 263
I. L'air, agent de la circulation vitale sur la planète. — Phénomènes de réflexion et de réfraction. — Mirage. 263
II. Poids de l'air. — Hauteur des couches supérieures. — Mesures barométriques. 273
III. Pression moyenne de l'atmosphère sous les diverses latitudes. — Refoulement de l'air dans l'hémisphère boréal. — Oscillations diurnes de la colonne barométrique. — Oscillations annuelles. — Variations irrégulières. — Lignes isobarométriques. 278
IV. Loi générale de la circulation des vents. — Alizés du nord-est et du sud-est. — Calmes équatoriaux. — Oscillations du système des vents. . 286
V. Contre-alizés ou vents de retour. 293
VI. Les alizés des continents. — Les moussons. — Vents étésiens. . . . 302
VII. Brises de terre et de mer. — Vents des montagnes. — Brises solaires. — Vents locaux. — Le simoun, le siroco, le fœhn, les tourmentes, le mistral. 309
VIII. Zone des vents variables. — Lutte des vents opposés. — Direction moyenne des courants atmosphériques. — Loi de giration. 317

CHAP. II. — LES OURAGANS ET LES TROMBES 326
I. Remous aériens. — Cyclones des régions équatoriales. — Le « grand ouragan. » 326
II. Vitesse des masses d'air tournoyantes et translation du cyclone. — Baisse de la colonne barométrique. — Irrégularités du vent sur le pourtour du cyclone. 334
III. Spirale des ouragans dans les deux hémisphères. — Théorie des cyclones. — Instructions nautiques pour éviter l'ouragan. 342
IV. Remous des tempêtes. — Les trombes. 350

CHAP. III. — LES NUAGES ET LES PLUIES. 362
I. La vapeur d'eau. — L'humidité de l'air. — L'humidité absolue et l'humidité relative. 362
II. Formation des brouillards et des nuages. — Hauteur, épaisseur, forme, aspect des nuées. 367

Pages.

III. Influence des vents sur la formation de la neige et de la pluie. — Répartition des pluies dans les plaines et sur les montagnes. 376
IV. Pluies tropicales. — Saisons pluvieuses et saisons des sécheresses. — Régularité des pluies. 387
V. Pluies en dehors des tropiques. — Pluies d'hiver; pluies de printemps et d'automne; pluies d'été; pluies des régions polaires. 393
VI. Contrées sans pluies. — Action géologique des pluies. — Contraste des deux hémisphères. 398

CHAP. IV. — LES ORAGES, LES AURORES, LES COURANTS MAGNÉTIQUES. . . . 407
I. Hauteur des nuages orageux. — Distribution des orages dans les diverses régions de la terre. — Marche de ces météores. 407
II. Aurores polaires. 419
III. Le magnétisme terrestre. — Déclinaison, inclinaison, intensité des mouvements de la boussole. — Pôles et équateur magnétiques. — Lignes isogones et leurs variations séculaires, annuelles, diurnes. — Lignes isoclines. — Lignes isodynamiques. 433

CHAP. V. — LES CLIMATS. 444
I. La chaleur solaire. — Irrégularités des climats locaux. — Égalisation de la température au-dessous de la surface du sol et dans les sources. . . 444
II. Contraste des climats entre les deux hémisphères du nord et du sud, entre les côtes orientales et les côtes occidentales des continents, entre les rivages et l'intérieur des terres, entre les montagnes et les plaines. 450
III. Isothermes. — Équateur thermique. — Pôles de froid. — Accroissement de la température vers les pôles. — Mer libre. 459
IV. Extrêmes de température. — Lignes isochimènes et isothères. — Variations diurnes et mensuelles. — Décroissement de la chaleur dans les couches supérieures de l'air. — Variations des climats pendant la période historique. 465

TROISIÈME PARTIE.

LA VIE.

CHAPITRE I. — LA TERRE ET SA FLORE 483
I. La multitude des êtres vivants. — Nombre des espèces végétales. — Proportion des dicotylédonées, des monocotylédonées et des cryptogames. — Les forêts et les savanes. 483
II. Influence de la température, de l'humidité, des rayons lumineux et chimiques sur la végétation. — Aires des plantes. 490
III. Stations particulières des espèces. — Plantes aquatiques d'eau de mer et d'eau douce. — Espèces des plages. — Parasites. — Espèces ter-

Pages.

restres. — Influence des terrains sur la végétation. — Plantes associées. — Mer de varech. — Étendue des aires 500

IV. Contraste des flores dans les diverses parties du monde. — Les flores insulaires et les flores continentales. — Richesse croissante de la végétation dans la direction des pôles à l'équateur. — Forêts tropicales. — Forêts de l'Amazone. 507

V. Étages de végétation sur les pentes des montagnes. — Pénétration réciproque des flores superposées. — Limites supérieures des espèces végétales en divers pays du monde. — Irrégularités dans l'étagement des flores. 517

VI. Espèces disjointes. — Déplacement des aires par suite des changements géologiques. — Plantes de la Grande-Bretagne. — Naturalisation. — Incessantes modifications des flores. 526

CHAP. II. — LA TERRE ET SA FAUNE. 537

I. Les origines de la vie. — Espèces animales. — Multitude des organismes. — La faune des grottes. — Contrastes des terres et des mers. . 537

II. La faune océanique. 542

III. Influence du climat et des conditions physiques sur les espèces animales 550

IV. Nourriture des espèces animales. — Contraste des faunes. — Aires d'habitation. — Changements dans la surface des aires. — Naissance et disparition des espèces. 557

V. Grandes faunes terrestres. — Zones homoïozoïques. 565

VI. Distribution des espèces sur les pentes des montagnes et dans les profondeurs des mers. 572

VII. Travaux géologiques de certaines espèces animales. — Les récifs et les îles de corail. 579

CHAP. III. — LA TERRE ET L'HOMME. 598

I. Influence de la nature sur les destinées de l'humanité. — Ancienneté de l'homme sur la terre. — Monogénistes et polygénistes. — Fusion des races humaines 598

II. Influence des climats. — Zone tropicale. — Zone glaciale. — Zone tempérée. 606

III. Influence du relief terrestre sur l'humanité. — Les plateaux, les montagnes, les collines et les plaines. 614

IV. Influence de la mer et des eaux courantes. — Les peuples voyageurs et commerçants. — Les îles et les insulaires. 623

V. Fusion des contrastes de climats. — Modification de l'influence des milieux suivant l'état de la civilisation 629

VI. Marche de l'histoire. — Harmonie des terres et des peuples qui les habitent 637

CHAP. IV. — LE TRAVAIL DE L'HOMME. 645

I. Réaction de l'homme sur la nature. — Exploration du globe. — Voyages de découvertes. — Ascensions de montagnes. 645

Pages.

II. Conquête de la terre par la culture. — Irrigations des anciens et des modernes. 650

III. Mise en culture des marais. — Drainage du sol dans les campagnes et dans les villes. 656

IV. Asséchement des lacs et des golfes marins. — Lac Copaïs, lac Fucino, mer de Harlem, Zuyderzee. — *Polders*. — Le lessivage des plages salines 662

V. Digues du littoral. — Épis de défense. — Pointe-de-Grave. 673

VI. Voies de communication naturelles et artificielles. — Plages, déserts et savanes. — Rivières, canaux, chemins de fer. — Ponts et viaducs. — Percement des isthmes. — Canal de Suez. — Isthmes de l'Amérique centrale. 682

VII. Puissance industrielle de l'homme. — Le télégraphe électrique. — Prise de possession de la mer. — L'ostréiculture. 694

VIII. Innocuité relative des ouragans. — Prévision du temps. — Modifications que le travail de l'homme apporte aux climats. 701

IX. Influence de l'homme sur la faune et la flore. — Empiétement des espèces communes. — Extension donnée par l'agriculture aux espèces cultivées. 709

X. Influence de l'homme sur la beauté de la terre. — Enlaidissements et embellissements du sol. — Action diverse des différents peuples. — Sentiment de la nature. — Progrès de l'humanité 718

TABLE

DES CARTES ET FIGURES.

CARTES ET FIGURES INSÉRÉES DANS LE TEXTE.

Pages.

1. Gouf de Cap-Breton 8
2. Profondeurs de l'Adriatique 10
3. Profil du lit de l'Adriatique. 12
4. Profil du lit de la mer du Nord, de la pointe septentrionale de l'Écosse à Stavanger en Norvége. 14
5. Profondeurs de la Manche. 15
6. Profil suivant la ligne de plus grande profondeur. 15
7. Section de l'Atlantique tropical. 17
8. Propagation des vagues de tremblement à travers le Pacifique. 19
9. Profondeurs de l'océan Pacifique. 20
10. Profondeur de la mer aux bouches du Gange. 21
11. Salinité proportionnelle des mers 27
12. Limans salins de la Bessarabie 31
13. Nappe d'eau présumée à la température de 4 degrés. 39
14. Voyages des glaces entre l'Europe et l'Amérique. 51
15 et 16. Montagnes de glace de l'océan Antarctique; d'après Wilkes. 53
17. Itinéraire du *Peacock* dans les glaces. 54
18. Voyages des glaces dans l'hémisphère méridional 55
19. Oscillations d'un navire sur les vagues. 61
20. Hauteurs moyennes des vagues observées à Lybster (Écosse) en 1852. . . 62
21. Amplitude moyenne des vagues. 63
22. Rade de Saint-Jean-de-Luz. 68
23. Canal de la Floride. 78
24. Route des bateaux à vapeur; d'après Maury 91
25. Détroit de Gibraltar. 104
26. Profil du détroit de Gibraltar. 105
27. Marée lunaire. 111
28. Marée de syzygie, lors de la nouvelle lune. 113
29. Marée de syzygie, lors de la pleine lune. 114

Pages.
30. Marée de quadrature. 116
31. Marée du 2 août 1859, à Southampton. 117
32. Lignes cotidales des îles Britanniques. 122
33, 34 et 35. Irrégularités apparentes des marées; d'après Lubbock. 124
36. Baie de Fundy 126
37. Embouchure de l'Avon ; d'après la carte de l'Ordonnance. 127
38. Détroit de Noirmoutiers. 128
39. Marées de la Manche. 130
40. Hauteur des marées dans le canal d'Irlande. 133
41. Croisement des intumescences de marée dans la Manche et la mer du Nord, des îles Scilly à l'embouchure du Humber. 134
42. Courant de marée dans le canal d'Irlande. 138
43. Coupe longitudinale d'un mascaret observé dans la baie de Seine; d'après M. Partiot. 143
44. Élévation d'un mascaret observé entre Caudebec et la Meilleraye; d'après M. Partiot. 143
45. Plan d'un mascaret observé dans les passes de la baie de Seine; d'après M. Partiot. 143
46. Plan de deux mascarets qui s'entre-croisent sur les bancs de la baie de Seine; d'après M. Partiot. 144
47. Marées de la Garonne 146
48. Profil du détroit de Messine. 150
49. Lysefjord.. 157
50. Fjords du Groenland 158
51. Bouches de Cattaro 160
52. Fjords de l'Amérique du Sud. 161
53. Anciens fjords de l'Italie septentrionale. 166
54. Fjords du sud-est de l'Islande. 167
55. Fjords comblés de Christianssand. 168
56. Les anciens fjords de Carentan. 169
57. Rade des Downs 173
58. L'Abervrach 175
59. Plan des marmites de géants de Haelstolmen; d'après Daubrée. 176
60. Puits à mareyage. 178
61. Falaise méditerranéenne 184
62. Falaise de l'Océan. 184
63. Falaises d'Inishmore; d'après Kinahan. 185
64. Helgoland 187
65. Ile de Borkum en 1738. 192
66. Ile de Borkum en 1825. 193
67. Courbes des côtes entre Oneglia et Savone. 195
68. Profil des plages 199
69. Embouchure du Liamone. 200
70. Embouchure de la Bidassoa 201
71. Presqu'île de Giens 203
72. Presqu'île du cap Sepet 205

Pages.
73. Péninsule de Portland. 206
74. Iles Miquelon 207
75. Flèches du littoral entre Port-Vendres et Aigues-Mortes. 208
76. Lagunes et *lidi* de Venise. 210
77. Flèches de Dantzig et de Pillau. 211
78. Positions diverses du cap Ferret de 1768 à 1863. 213
79. Rade de la Madeleine (Californie). 215
80. Golfe de Carentan 216
81. Le Bahr-el-Assal et le golfe de Tedjura. 220
82. Choa-Canzouni. 230
83. Nossi-Mitsiou 231
84. Célèbes et Gilolo. 232
85. Profil de Stromboli, du S.-O. au N.-E. 233
86. Profil de Panaria, du N.-O. au S.-E. 233
87. Formation de la dune. 238
88. Formation du talus d'éboulement. 238
89. Couches successives des talus de sable 242
90. Dunes en croissant. 245
91. Étangs de Cazau, de Parentis et d'Aureilhan. 250
92. Formation des étangs. 251
93. Ile Thelenji, dans la mer Caspienne. 251
94. Ile de sable. 252
95. Mirages au Verdon, à l'embouchure de la Gironde; d'après Bravais. . . . 271
96. Mirages du *Vincennes* et du *Peacock;* d'après Wilkes. 272
97. Hauteurs comparées de la grande ascension de Wolverhampton, du Gaourisankar, du mont Blanc et du Snowdon. 277
98. Ileures tropiques de l'océan équatorial, de Cumana, de Halle et d'Abo; d'après Kämtz. 281
99. Pression de l'air sec à Apenrade; d'après Kämtz. 282
100. Variations mensuelles de la pression de l'air au Caire, à Calcutta, Berlin, Pétersbourg, Bénarès, Paris et Halle. 284
101. Amplitude mensuelle du baromètre dans l'hémisphère boréal. 286
102. Nuage de cendres du Morne-Garou. 294
103. Ile de Ténériffe 296
104. Théories de Dove et de Mühry. 298
105. Variations des contre-alizés 300
106. Vents alizés et moussons de l'Atlantique. 307
107. Direction générale des vents en France; d'après de Gasparin. 320
108. Comparaison des côtes occidentales et des côtes orientales; d'après Hann. 322
109. Calme sous le vent de la Réunion (15 février 1861). 331
110. Calme sous le vent de la Réunion (17 février 1861). 332
111. Les spirales de *Charles-Heddles*. 336
112. Cyclone dans la mer des Indes en janvier 1852. 339
113. Cyclone dans la mer des Indes en février 1860. 340
114. Parabole parcourue par un ouragan; d'après Bridet. 341
115. Cyclones simultanés à la Réunion en décembre 1824. 345

Page.
116. Inclinaison des cyclones sur l'axe terrestre; d'après Andrau 347
117. Tempêtes de l'Atlantique boréal en décembre, janvier et février; d'après M. Buys-Ballot. 351
118. Ombilic de tempête le 18 novembre 1864; d'après Sonrel. 352
119. Orage dans les Pyrénées; d'après Lartigue. 354
120. Orage dans les Pyrénées; d'après Lartigue. 355
121. Trombe de Monville; d'après M. Eugène Noël. 356
122. Trombe de poussière; d'après Baddeley. 358
123. Trombe de poussière; d'après Baddeley. 359
124. Variations des degrés hygrométriques à Zurich et sur le Faulhorn. . . . 365
125. Marche comparative du thermomètre et de l'hygromètre en juillet à Halle. 366
126. Régime des vents et des nuages à Ténériffe. 372
127. Hauteurs de pluie, sur les deux versants de la vallée de la Saône. 380
128. Altitudes des deux versants de la vallée de la Saône. 380
129. Hauteurs de pluie comparées. 383
130. Répartition des pluies dans le district des lacs de Cumberland. 385
131. Pluies autour du golfe du Mexique. 389
132. Hauteurs de pluie mensuelle à Anjarakandy, Calcutta et Madras; d'après Kämtz 391
133. Hauteurs de l'eau pluviale à Anjarakandy et températures correspondantes; d'après Kämtz. 392
134. Hauteur d'eau tombée dans le bassin de l'Ill pendant l'année 1856 et débit moyen de la rivière mesurés en mètres cubes. 396
135. Pluie d'automne de la France; d'après Kämtz. 396
136. Pluies d'automne et pluies d'été des régions tempérées de l'Europe; d'après Kämtz. 397
137. Les cratères ravinés de la Réunion. 401
138. Fréquence proportionnelle des orages. 410
139. Proportion des averses de grêle par saisons en Russie et en Angleterre. . 410
140. Orages du 9 mai 1865 412
141. Orage dans la plaine au nord des Pyrénées. 413
142. Orages à grêle dans l'Orléanais. 414
143. Orages à grêle du Bas-Rhin 415
144. Coupe à travers l'aurore boréale du 28 août 1859. 423
145. Coupe à travers l'aurore boréale du 2 septembre 1859. 424
146. Répartition mensuelle des aurores boréales; d'après Kämtz. 426
147. Répartition mensuelle des aurores boréales; d'après Klein. 427
148. Aurores boréales à Newhaven, dans le Connecticut (États-Unis). 429
149. Zone circumpolaire des aurores boréales. 430
150. Lignes isodynamiques. 443
151. Températures ordinaires de la Saône et du Rhône, à Lyon. 450
152. Distribution des températures en juillet. 451
153. Distribution des températures en octobre. 452
154. Distribution des températures en janvier. 452
155. Variation de la température à Paris suivant les différents vents; d'après Mahlmann et Lalanne. 456

Pages.
456. Climat continental de Varsovie et climat océanique de Plymouth. 457
457. Climat des îles Britanniques. 468
458. Variations diurnes de la température moyenne à Paris; d'après Bouvard. 470
459. Variations mensuelles de la température en divers lieux. 471
460. Températures des mêmes heures dans les différents mois à Bruxelles; d'après Quételet. 472
461. Variation de la température moyenne mensuelle par heure à Halle. . . . 473
462. Température des différentes heures à Halle. 473
463. Succession des climats sur les pentes du mont Blanc. 476
464. Carte circumpolaire des régions sans arbres. 487
465. Forêts de la Transylvanie. 489
466. Limites de végétation de l'*aquilegia vulgaris* et du *campanula erinus*. . 491
467. Limites polaires du houx, du frêne, du hêtre, du chamærops *humilis*. . . 492
468. Limites polaires du *dabœcia polifolia* et de l'amandier nain. 493
469. Flore méditerranéenne 511
470. Cultures de Java. 520
471. Étages de végétation sur les flancs du Pic de Teyde (île de Ténériffe) . . 521
472. Étages de végétation sur les flancs du Canigou. 522
473. Étages de végétation sur le Sulitjelma 524
474. Hauteurs comparées de diverses espèces sur le Canigou et dans les Alpes bavaroises 525
475. Fond de la mer. 549
476. Profil d'un banc de corail; d'après Darwin. 584
477. Rade de Papeïti (île de Tahiti) 586
478. Ile Gambier. 587
479. Profil de l'île Gambier, d'après Darwin. 588
480. Atoll de Menchikoff 588
481. Archipel de Brown. 589
482. Partie du groupe de Kingsmill; d'après Dana. 590
483. Mer Rouge et ses coraux 592
484. Les *Keys*. 594
485. Archipel des Bahama. 595
486. Profil en travers des îles de Bahama. 596
487. Iles d'Eleuthera et de la Nouvelle-Providence. 597
488. Densité de la population en Belgique. 612
489. Densité de la population en Grèce. 613
490. Le Valgodemar 617
491. Vallée de la Plessur. 618
492. Villages d'Aliermont. 632
493. Monte San Giuliano. 634
494. Lac Copaïs 663
495. Polders de Harlem. 666
496. Zuyder-Polder. 669
497. Salines de Trapani. 671
498. Profil de digue du littoral de Frise. 673
499. Digues d'Uithuizen. 674

Pages.
200. Jetées de Westkapelle. 676
201. Jetées de Petten 677
202. Profondeurs successives de la Clyde. 684
203. Chemins de fer du Lancashire. 686
204. Population comparée de Londres et de l'Angleterre. 687
205. Isthme de Corinthe. 690
206. Câbles électriques de Paris à New-York. 697
207. Rade d'Aiguillon. 700
208. Naufrages de la Méditerranée. 702

PLANCHES HORS TEXTE.

I. Pas-de-Calais 14
II. Plateau sous-marin des îles Britanniques. 17
III. Océan Atlantique boréal. 18
IV. Banquise antarctique. 52
V. Le courant du golfe (*Gulf-stream*). 76
VI. Courants océaniques. 92
VII. Baie de Saint-Michel. 129
VIII. Les fjords de la Norvége. 156
IX. Profondeurs du Zuyderzee. 191
X. Flèches de la Caroline du Nord 209
XI. Dunes de la Teste. 247
XII. Pluies de poussière rouge. 294
XIII. Ouragan d'août et septembre 1848. 343
XIV. Zones des pluies. 405
XV. Lignes isogones et isoclines. 442
XVI. Isothermes du Pacifique. 460
XVII. Les isothermes. 464
XVIII. Lignes isothermiques de janvier et de juillet dans l'hémisphère boréal. . 467
XIX. Forêts des Vosges 487
XX. Mer de varech. 506
XXI. Grande barrière de l'Australie 593
XXII. Grèce 640
XXIII. Régions inexplorées des deux pôles. 647
XXIV. Travaux de défense de la Pointe-de-Grave 678
XXV. Passages de la Maurienne 688
XXVI. Isthme de Suez 691
XXVII. Isthmes de l'Amérique centrale. 693

PARIS. — J. CLAYE, IMPRIMEUR, 7, RUE SAINT-BENOÎT. — [85]